Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й
В Е С Т Н И К
П О В О Л Ж Ь Я

№5 2012

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2012

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №5 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 408 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.;

Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

 © Научно-технический вестник Поволжья, 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.К. Половняк, А.Ф. Хабибрахманов ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН 12

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.О. Артемов, М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова О ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОМ ОПИСАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ 16

В.В. Дружинин, Л.А. Лобов РАЗЛОЖЕНИЕ ОБРАТНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ ЧИСЕЛ НА ДРОБИ 21

А.М. Игнатова ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО ИСКАЖЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРЕШЕНИИ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ 25

А.В. Михайлов, В.Л. Шаблов МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БОРНОВСКИЕ РЯДЫ В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ЧАСТИЦ С КУЛОНОВСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ 32

М.С. Моисеенков, С.В. Русаков РАЗНОСТНАЯ СПЛАЙН-СХЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ДИФФУЗИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕАГИРУЮЩЕЙ СМЕСИ 41

О.Ю. Сметанников, Н.П. Поносов ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ В ANSYS CFX 45

Г.С. Филиппов, Б.Ю. Ященко, В.С. Николаенко, И.Е. Евдокимов РАСЧЕТ ИНДИКАТРИССЫ СЛОЖНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ 50

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

О.М. Адианова, В.И. Летунов 3-АРИЛИДЕНАМИНОПРОПАНОЛЫ В РЕАКЦИИ С МЕТИЛКЕТОНАМИ 55

О.В. Манаенков, А.Е. Филатова, О.Ю. Макеева, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман, А.С. Торозова, О.В. Кислица КОНВЕРСИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СРЕДЕ СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ПРИСУТСТВИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРИРОВАНИЯ 59

Л.И. Юревич, А.В. Лисов, А.А. Леонтьевский ДВУХДОМЕННАЯ ЛАККАЗА БАКТЕРИИ *STREPTOMYCES LIVIDANS* AC-1709 – ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЙ БИОКАТАЛИЗАТОР, АКТИВНЫЙ ПРИ ЩЕЛОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ pH 64

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

С.Н. Алехин ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В БАРАБАНЕ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОТЖИМЕ 69

В.В. Андреев, К.Г. Петров, Н.П. Тарасова, В.А. Чирков СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ГУМАНИТАРИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ 74

И.А. Анисимов, Л.Н. Буракова, В.Ф. Буторин ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ 79

М.И. Баженов, А.И. Харченко ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОВ С ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ 83

Ю.М. Баженов, А.И. Харченко БЕЗУСАДОЧНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПЕСКОВ 86

А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ПОСТАХ ПО ТО И РЕМОНТУ МАШИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ 89

А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ТОПЛИВОЗАПРАВЩИКАХ ДЛЯ МАШИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ 93

Т.А. Барабанова ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 97

В.Ф. Беккер ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АБСОРБЕРЕ 100

О.И. Богданов, О.И. Седляров МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 104

А.В. Бондаренко, Д.А. Макаров ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНО ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ 110

В.Н. Будилов, П.В. Дреманович О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОКАМЕРЫ 114

А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСАДКИ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ СФОРМИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 118

В.В. Воронин МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА 121

В.В. Воронин, В.И. Марчук, В.А. Франц, Н.В. Гапон, Р.А. Сизякин ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА 124

В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.И. Лушин, П.П. Пастушков О ПРИМЕНЕНИИ ВЕТРОГИДРОЗАЩИТНЫХ МЕМБРАН В НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ 128

С.С. Галата, С.Е. Уханов, В.Г. Рябов, К.А. Сибиряков ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ ИОННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ 132

П.Н. Герасимов, Я.И. Корнев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА 136

В.В. Глебов, Ю.В. Присяжнюк, Л.А. Каплин ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ 140

С.Н. Голышев, М.А. Донченко, С.Н. Ермаков ВЛИЯНИЕ РАДИУСА ИЗГИБА ТРУБЫ ПОЛИМЕРНОЙ, АРМИРОВАННОЙ ПРОВОЛОЧНЫМИ ПОВИВАМИ, НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ 143

А.Г. Гоньшаков, Н.Г. Гоньшаков, С.И. Рощина ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО ДИСКА ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ, ОБРАЗОВАННОЙ НА ОСНОВЕ ТИПОВОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РЕШЕТЧАТОЙ БАЛКИ 149

А.К. Дятлов, А.И. Харченко, М.И. Баженов, И.Я. Харченко КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ 153

А.И. Жигульская РАСЧЁТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ МЕЛЬНИЦ И ИХ СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ 160

А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, И.С. Бурмистров, С.А. Оганесян, А.В. Лемешев ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЦИОНАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ ТОРФЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА 163

А.И. Залеснов, Е.Н. Петухов ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ТОЧЕНИЯ И СОСТАВА МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ 168

Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Е. Мироненко ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ 172

Ф.Н. Захаров, В.П. Валуйских ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРОЧНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ 178

В.Н. Иванов, Л.В. Лобачева, В.В. Кундряков МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОДЗЕМНОМ ПОТОКЕ ОТ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ 183

А.М. Игнатова ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И СИЛИКАТНОЙ ФАЗ РАСПЛАВА ПРИ УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И НЕРУДНОГО СЫРЬЯ 188

И.Я. Имморeев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЖИВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФОНЕ ОТРАЖЕНИЙ ОТ МЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ 194

А.И. Иноземцев, Е.В. Королев ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ 198

М.Ю. Казаков, М.С. Гринкруг, Ю.И. Ткачева ВЫБОР МОЩНОСТЕЙ КОТЛОВ НА КОТЕЛЬНОЙ ИЗ УСЛОВИЯ МИНИМИЗАЦИИ ГОДОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА 206

В.В. Ковригина, М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ СИСТЕМЫ С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОНСОЛЬНЫМ СТЕРЖНЕМ НА ТОРСИОННЫЕ ВИБРАЦИИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ 215

А.В. Колесников ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 221

Л.А. Корякин ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 226

Ю.Ю. Костаков, Э.Н. Безматерных, В.Г. Рябов, А.В. Кудинов СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЭМУЛЬГАТОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ НА УПСВ «ПАШНЯ» 230

С.В. Лановецкий ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ ОТ ПРИМЕСЕЙ 234

С.А. Миронова, О.К. Косвинцев ВЛИЯНИЕ СТАДИИ РУДОПОДГОТОВКИ НА ПРОЦЕСС ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ РУДЫ 239

О.С. Мисников, О.В. Пухова, С.С. Цымлякова МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ОСУШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ 244

Н.В. Митрохов, С. Грисхаммер ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ В КАНАЛЕ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОТОЧНЫХ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 248

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов АКУСТИЧЕСКИЕ ИМПЕДАНСЫ СТЕРЖНЕЙ В МНОГОЗВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ 252

В.В. Настека, А.Ф. Коренякин, Н.Ф. Низамов, Е.Ю. Чирков, В.М. Кушнаренко ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРПУСОВ ФОНТАННОЙ АРМАТУРЫ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ 257

М.В. Овечкин, В.Н. Шерстобитова, Д.А. Проскурин РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СРЕДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ 260

А.А. Орлов МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ КОНТУРНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ 265
С.В. Поршнев, Д.А. Якоб ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬНО-ПРОПУСКНОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ С МАССОВЫМИ ПОТОКАМИ ПОСЕТИТЕЛЕЙ 268
Е.В. Пояркова, В.И. Полухина ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ И РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 274
К.В. Рочев МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ В СИСТЕМЕ СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДОВОГО КОЛЛЕКТИВА 278
И.В. Рубцов, М.С. Савин РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО МЕТОДА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ 283
П.О. Румянцев, А.Ф. Емельянов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СОСТАВА ПСМ-2 ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ 287
П.О. Румянцев, А.Ф. Емельянов МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 292
Ю.Х. Сагитов ФОРМУЛА РЫКАЛИНА Н.Н. ДЛЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА ОТ ПОДВИЖНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА 296
И.М. Селянцев ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ 302
А.В. Семенова АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 307
С.Н. Скобелева ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОПРИЁМА В СИСТЕМАХ С УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ 311
О.О. Соколова, Н.А. Труфанов ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ СЛИТКА НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ 315
А.М. Станкевич, О.А. Суворова ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ 320
А.С. Сысоев ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ 324
А.Г. Тамразян, О.В. Мкртычев, В.Б. Дорожинский РАСЧЕТ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА АВАРИЙНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ 331
А.Р. Туснин РАСЧЕТ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ КРУТЯЩИХ НАГРУЗОК 335
А.Г. Уймин, В.И. Суханов ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ 340
В.А. Ушков, М.Г. Бруяко, Л.С. Григорьева, Е.В. Сокорева ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И ГОРЮЧЕСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ОЛИГОМЕРОВ 344
В.Б. Филатов К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНОГО ПЕРИМЕТРА ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЛОСКИХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ 349

А.И. Харченко, А.К. Дятлов, М.И. Баженов ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ 353

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк ВОЗБУЖДЕНИЕ ГАРМОНИК ПРОДОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА КОНСОЛИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ 357

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк ВОЗБУЖДЕНИЕ ОСНОВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В КОНСОЛЬНОМ СТЕРЖНЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ 363

А.Б. Шеин, А.В. Денисова, О.В. Козловская, С.А. Шардин, В.Г. Рябов ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРОВОДОРОДА НА ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ АЛКИЛДИМЕТИЛБЕНЗИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА 369

А.С. Ширкунов, А.В. Кудинов, В.Г. Рябов, П.В. Бакулев СРАВНЕНИЕ ЖИДКОСТНОЙ АДСОРБЦИОННОЙ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ 373

А.С. Ширкунов, В.Г. Рябов, Е.В. Парфенова ПОЛУЧЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ С УЛУЧШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ ПРОТИВ СТАРЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАУНДИРОВАННОЙ БИТУМНОЙ ОСНОВЫ И МОДИФИКАТОРА «ELVALOY 4170 RET» 378

АННОТАЦИИ 384

THE RELEASE MAINTENANCE

V.K. Polovnyak, A.F. Habibrahmanov PROSPECTS FOR TREATMENT AND USE OF THE REPUBLIC OF NATURAL BITUMEN 12

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

A.O. Artemov, M.N. Ignatov, A.M. Ignatova ON THE STRESS RELAXATION DURING DEFORMATION OF SYNTHETIC MINERAL ALLOYS 16
V.V. Druzhinin, L.A. Lobov THE EXPANSION OF INVERSE PRODUCT OF NUMBERS INTO FRACTIONS 21
A.M. Ignatova RESEARCH CONSISTENTLY STRUCTURAL DISTORTION OF SYNTHETIC MINERAL ALLOYS DURING DEFORMATION AND THE PERMITTED METHODS REGISTRATION ACOUSTIC EMISSION 25
A.V. Mikhailov, V.L. Shablov MODIFIED BORN SERIES IN THE QUANTUM PROBLEM OF THREE PARTICLES WITH THE COULOMB INTERACTION 32
M.S. Moiseenkov, S.V. Rusakov SPLINE DIFFERENCE SCHEME FOR MULTICOMPONENT REACTING MIXTURE'S DIFFUSION CALCULATION 41
O.Yu. Smetannikov, N.P. Ponosov STUDY OF UNSTEADY FLOW WITH MOVING BOUNDARIES IN ANSYS CFX 45
G.S. Filippov, B.Ju. Jawenko, V.S. Nikolaenko, I.E. Evdokimov THE DIFFICULT RADIATOR INDICATRIX CALCULATION 50

CHEMICAL SCIENSEC

O.M. Adianova, V.I. Letunov 3-ARYLIDENAMINOPROPANOLES IN REACTION WITH ACETOTHENONES 55
O.V. Manaenkov, A.E Filatova, O.Yu. Makeeva, M.G. Sulman, E.M. Sulman, A.S. Torozova, O.V. Kislitza CONVERSION OF CELLULOSE IN SUBCRITICAL WATER IN PRESENCE OF HETEROGENEOUS CATALYSTS 59
L.I. Yurevich, A.V. Lisov, A.A. Leontievsky TWO DOMAIN LACCASE OF BACTERIA *STREPTOMYCES LIVIDANS* AC-1709 – THERMOSTABLE BIOCATALYST THAT IS ACTIVE AT ALKALINE PH VALUES 64

ENGINEERING SCIENCE

S.N. Alekhin THE STUDY OF THE LONGITUDINAL DISPLACEMENT OF TEXTILE PRODUCTS IN THE DRUM WASHING MACHINES FOR SPINNING 69
V.V. Andreev, K.G. Petrov, N.P. Tarasova, V.A. Chirkov SYSTEM APPROACH AND THE GUMANITARIZATION OF TECHNICAL EDUCATION 74
I.A. Anisimov, L.N. Burakova, V.F. Butorin ASSESSMENT OF INFLUENCE OF WORK OF ELECTRIC SYSTEMS ON CAR FUEL CONSUMPTION 79
M.I. Bazhenov, A.I. Kharchenko A STUDY OF SOME PROPERTIES OF THE CEMENT WITH FINE ADDITION 83
Ju.M. Bazhenov, A.I. Kharchenko DIMENSIONAL STABILITY OF FINE-GRAINED CONCRETE WITH UNCONDITIONED SANDS 86
A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin, Yu.E. Yakubovskiy DETERMINATION OF REQUIREMENT OF POSTS FOR MAINTENANCE AND REPAIR MACHINES IN THE CONSTRUCTION AND REPAIR OF OIL PIPELINES 89
A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin, Yu.E. Yakubovskiy DETERMINATION OF REQUIPMENT FOR REFUELING VEHICLES FOR MASHINES, USED IN REPAIR AND CONSTRUCTION OF THE MAIN OIL PIPELINES 93

T.A. Barabanova TRENDS IN THE USE OF TECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION OF MAPS 97
V.F. Bekker EFFECT OF ROTATIONAL MOTION COMPONENTS ARE MOBILE TIPS ON INTENSITY HYDRODYNAMIC PROCESSES IN THE ABSORBER 100
O.I. Bogdanov, O.I. Sedlyarov SIMULATION OF DISPERSAL OF POLLUTANTS IN PRODUCTION UNITS OF SHOE MANUFACTURES 104
A.V. Bondarenko, D.A. Makarov INFORMATION MODEL OF SUPPLY MANAGEMENT IN AVIATION MAINTENANCE 110
V.N. Budilov, P.V. Dremanovich ABOUT THE LIMITATIONS OF MEASURING THE FREQUENCY OF MECHANICAL VIBRATIONS WITH A CAMERA SYSTEM 114
A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan INCREASE OF DURABILITY OF FIT OF DETAILS WITH TENSION OF THE CREATED WHEEL PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 118
V.V. Voronin METHOD OF IMAGE RECONSTRUCTION BASED TEXTURE ANALYSIS 121
V.V. Voronin, V.I. Marchuk, V.A. Frantc, N.V. Gapon, R.A. Sizaykin RESEARCH OF THE METHOD OF IMAGE RECONSTRUCTION BASED TEXTURE ANALYSIS 124
V.G. Gagarin, V.V. Kozlov, K.I. Lushin, P.P. Pastushkov ABOUT APPLICATION OF A WIND- HYDROPROTECTIVE MEMBRANES IN HINGED FACADE SYSTEMS WITH A VENTILATED LAYER 128
S.S. Galata, S.E. Ukhanov, V.G. Ryabov, K.A. Sibiryakov DETERMINATION OF THE CRITICAL MICELLE CONCENTRATION IONIC SURFACTANTS IN AN ALKALINE MEDIUM 132
P.N. Gerasimov, Y.I. Kornev, I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov PROCESSING OF RADAR SIGNALS REFLECTED FROM THE HUMAN THORAX 136
V.V. Glebov, Ju.V. Prisyazhnyuk, L.A. Kaplin FEATURES OF ELECTROCHEMICAL MACHINING OF DETAILS FROM MAGNETIC ALLOYS 140
S.N. Golyshev, M.A. Donchenko, S.N. Ermakov INFLUENCE OF THE RADIUS OF BEND OF THE POLYMER PIPE REINFORCED WITH WIRE PASSED ROUND IT UPON ITS STRENGTH PROPERTIES UNDER PRESSURE 143
A.G. Gonshakov, N.G. Gonshakov, S.I. Roshchina STUDY OF STRESS STATE DISK OPRNOGO LIGHTWEIGHT CONSTRUCION, FORMED ON THE MODEL FOR STRUCTURAL CONCERTE LATTICE GIRDER 149
A.K. Dyatlov, A.I. Kharchenko, M.I. Bazhenov, I.Ja. Kharchenko COMPOSITE BINDER FOR FINE SELF-COMPACTING CONCRETE 153
A.I. Zhigulsky CALCULATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF DISK MILLS AND THEIR RELATIONSHIP WITH PROCESS PARAMETERS 160
A.I. Zhigulsky, T.B. Yakonovskay, I.S. Burmistrov, S.A. Oganesyn, A.V. Lemeshev ECOLOGICAL, TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC APPROACH TO RATIONAL DEVELOPMENT OF PEAT PRODUCTION 163
A.I. Zalesnov, E.N. Petukhov INFLUENCE OF MODES DIAMOND TURNING AND STRUCTURE METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS ON QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF THE SUPERFICIAL LAYER 168
N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, A.E. Mironenko SEASONAL CONDITIONS IMPACT ON ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION UNDER SERVICE MAINTENANCE AND VEHICLES REPAIR 172
F.N. Zakharov, V.P. Valuiskikh HYDRAULIC CHARACTERISTICS ARCHED CULVERTS 178
V.N. Ivanov, L.V. Lobacheva, V.V. Kundrjakov THE MODELING OF THE PREVALENCE OF POLLUTION IN UNDERGROUND FLOW FROM SCRAP LOCATION 183

A.M. Ignatova FORMATION OF METAL AND SEPARATION AND SILICATE PHASES MELT SURFACE DURING A REDUCING MELTING TECHNOGENIC METALLURGICAL AND NON-METALLIC MINERALS 188
I.Y. Immoreev, I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov RADAR DETECTION OF LIVING OBJECTS 194
A.S. Inozemtsev, E.V. Korolev ECONOMIC PREREQUISITES FOR APPLICATIONS OF HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE 198
M.J. Kazakov, M.S. Grinkrug, J.I. Tkacheva CHOICE OF CAPACITIES OF BOILER ON THE BOILER ROOM FROM THE CONDITION OF MINIMIZATION OF ANNUAL FUEL CONSUMPTION 206
V.V. Kovrigina, M.S. Hlystunov, Z.G. Mogiljuk THE ROTATING CONSOLE REACTION RESEARCH ON AN ROTATION AXIS TORSION VIBRATIONS 215
A.V. Kolesnikov IDENTIFICATION OF CALCULATION OF DYNAMIC PARAMETERS OF BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE OF STRONG EARTHQUAKES 221
L.A. Koryakin APPROACH TO THE DESIGN FOR ENTERPRISE ARCHITECTURES OF INTEGRATED SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES 226
Y.Y. Kostakov, E.H. Bezmaternyh, V.G. Ryabov, A.V. Kudinov COMPARISON OF DEMULSIFIER EFFECTIVENESS AND DETERMINATION OF OPTIMAL CONDITIONS FOR OIL DEWATERING IN UPSV “PASHNY” 230
S.V. Lanovetskiy STUDY METHODS OF TREATMENT THE MAGNESIUM NITRATE TECHNICAL SOLUTION FROM IMPURITIES 234
S.A. Mironova, O.K. Kosvintsev INFLUENCE OF ORE PREPARATION STAGE ON SYLVINITE ORES CONCENTRATION 239
O.S. Misnikov, O.W. Pukhova, S.S. Zimljakova METHODS OF PEATLAND DRAINAGE IMPROVING IN PEAT DEPOSITS DEVELOPMENT 244
N. Mitrokhov, S. Griesshammer NUMERICAL SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL FLOW IN THE CHANNEL STAND FOR RESEARCH RAMJET 248
J.G. Mogiljuk, M.S. Hlystunov RODS ACOUSTIC IMPEDANCES IN ITERATIVE DESIGNS 252
V.V. Nasteka, A.F. Korenjakin, N.F. Nizamov, E.J. Chirkov, V.M. Kushnarenko RESTORATION OF GUSHING ARMATURE'S CASES AFTER OPERATION IN HYDROGEN SULPHIDE ENVIRONMENTS 257
M.V. Ovechkin, V.N. Sherstobitova, D.A. Proskyrin RADIOGRAPHIC METHOD AMONG AUTOMATED QUALITY CONTROL AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES 260
A.A. Orlov CALCULATION METHOD FOR CONTOUR CUTTING ON CNC MILLING 265
S.V. Porshnev, D.A. Yakob INFORMATION MODEL OF ACCESS CONTROL SYSTEM OF OBJECTS WITH MASS FLOWS OF VISITORS 268
E.V. Poyarkova, V.I. Polukhina THE DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF THE METAL CONSTRUCTIONAL ELEMENTS OF PIPELINES AND TANKS FOR ESTIMATION OF THEIR SAFE OPERATION 274
K.V. Rochev METHODS OF ASSESSMENT OF KNOWLEDGE IN INCENTIVE SYSTEM OF THE PERSONNEL 278
I.V. Rubtsov, M.S. Savin DEVELOPMENT OF MODERN METHOD OF GEODESIC MONITORING OF EXTENDED OBJECTS BASED ON SISTEMS OF DATA VIDEO RECORDING 283
P.O. Rumyantsev, A.F. Emelyanov CUTTING ZONE TEMPERATURE MATHEMATIC SIMULATION WHILE MECHANICALLY TREATING PSM-2 COMPOSITION BY HARD-PLACE CUTTER PLATES 287
P.O. Rumyantsev, A.F. Emelyanov COMPUTER SIMULATION OF THE TURNING PROCESSING OF EXPLOSIVE MATERIALS BY FINETE ELEMENTS METHODE 292
Yu.Kh. Sagitov FORMULA RYKALIN N.N. FOR STEADY DISTRIBUTION OF HEAT FROM MOBILE POINT SOURCE 296

I.M. Selyantsev NUMERICAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CROSS-SECTION SHAPE CHANGING ON WORK OF THIN WALLED COLD-FORMED STEEL BEAM 302
A.V. Semenova THE ALGORITHM FOR GENERATING A COMBINED INDICATOR WORK MATHEMATICAL MODELING METHOD 307
S.N. Skobeleva PROBLEMATIC QUESTIONS IN THE RANGE OF FM 311
O.O. Sokolova, N.A. Trufanov NUMERICAL INVESTIGATION INFLUENCE OF INGOT'S DESIGN ON SOLIDIFICATION PROCESS 315
A.M. Stankevich, O.A. Suvorova GENERIC STRUCTURE OF MAINTENANCE, REPAIR AND OVERHAUL BUSINESS-PROCESSES 320
A.S. Sysoev NUMERICAL ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF TRANSPORT DELAY FUNCTION ON REGULATED INTERSECTION 324
A.G. Tamrazian, O.V. Mkrtychev, V.B. Dorozhinskiy LARGE-SPAN STRUCTURES CALCULATION AT EMERGENCY LOADS USING NONLINEAR DYNAMICS METHODS 331
A.R. Tusnin CALCULATION OF I-BEAMS EXPOSED TO LOAD TORQUE 335
A.G. Uymin, V.I. Sukhanov CLOUD COMPUTING TECHNOLOGY FOR MAIN-GELOGICAL INFORMATION SYSTEM DATA BASE TOOLS 340
V.A. Ushkov, M.G. Brujako, L.S. Grigoreva, E.V. Sokoreva THERMOSTABILITY AND COMBUSTIBILITY OF BUILDING POLYFOAMS ON THE BASIS OF REACTIVE OLIGOMERS 344
V.B. Filatov TO DEFINITION OF SETTLEMENT PERIMETER FOR PUNCHING REINFORCED CONCRETE FLAT PLATES 349
A.I. Kharchenko, A.K. Dyatlov, M.I. Bazhenov EFFICIENT FINE-GRAINED CONCRETE BASED COMPOSITE BINDERS FOR MONOLITHIC HOUSING 353
M.S. Hlystunov, J.G. Mogiljuk A LONGITUDINAL RESONANCE HARMONICS EXCITATION IN THE CONSOLE AT DYNAMIC LOADINGS 357
M.S. Hlystunov, J.G. Mogiljuk THE BASIC ACOUSTIC RESONANCE EXCITATION IN THE CONSOLE AT DYNAMIC LOADINGS 363
A.B. Shein, A.V. Denisova, O.V. Kozlovskaya, S.A. Shardin, V.G. Ryabov INFLUENCE OF HYDROGEN SULFIDE CONTENT ON PROTECTIVE EFFECT OF ALKILDIMETILBENZILAMMONIYA CHLORIDE 369
A.S. Shirkunov, A.V. Kudinov, V.G. Ryabov, P.V. Bakulev COMPARISON OF LIQUID ADSORPTION CHROMATOGRAPHY AND HIGH PRESSURE LIQUID CHROMATOGRAPHY IN PETROLEUM OIL GROUP-TYPE ANALYSIS 373
A.S. Shirkunov, V.G. Ryabov, E.V. Parfenova PRODUCTION OF PAVING GRADE POLYMER MODIFIED BITUMEN WITH IMPROVED AGEING RESISTANCE FROM POLYMER «ELVALOY 4170 RET» AND COMPOUNDED BITUMEN 378

ABSTRACTS 384

В.К. Половняк д.х.н., А.Ф. Хабибрахманов к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, vkpol@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Рассмотрены различные варианты облагораживания и переработки природных битумов РТ. В частности, гидротермальные в сочетании с поверхностно-активными веществами, сольвентные для удаления асфальтеновых фракций и термические для получения газообразных и жидких продуктов. Дан сопоставительный анализ рассмотренных методов и перспективы их практического применения.

Ключевые слова: *природные битумы, асфальтены, термолиз.*

Республика Татарстан располагает крупнейшим в России ресурсным потенциалом природных битумов. К настоящему времени выявлено от 430 до 450 залежей природных битумов. Наиболее реальной считается оценка запасов природных битумов в 1,4 млрд. тонн. Эти запасы выявлены в основном в пермских отложениях и залегают на глубинах до 400 м. Перспективы их освоения возрастают в связи с возможностью получения из них энергоносителей, альтернативных мазуту и природному газу[1]. Сегодня важнейшей задачей освоения битумного потенциала являются привлечение инвестиций в разработку этих месторождений и внедрение новых эффективных методов извлечения битумов.

Методы разработки месторождений природных битумов зависят от их геологолитологических характеристик и физико-химических свойств улеводородной массы. Около 10% месторождений природных битумов могут разрабатываться только рудничными методами с подъёмом породы на дневную поверхность.

Извлечение природных битумов из добытой битумоносной породы может осуществляться тремя методами: применением водных растворов, экстракцией углеводородными растворителями и термическими методами. К сожалению, современные нефтеперерабатывающие заводы не ориентированы на применение указанных технологий. Поэтому актуальной проблемой является разработка битумоперерабатывающих комплексов и перспективных технологий извлечения природных битумов с учетом их физико-химических свойств [2,3]. Решение этих проблем позволит вовлечь в разработку значительные запасы природных битумов Республики Татарстан, расширить сырьевую базу нефтепереработки и нефтехимии, а также дорожно-строительной индустрии.

В настоящее время опытно-промышленная добыча природных битумов осуществляется лишь на Мордово-Кармальском месторождении (Лениногорский район). Добыча ведется методом внутрипластового горения с помощью термогазового генератора. За 15 лет добыто около 200 тыс. т битумов, которые использовались главным образом для изготовления асфальта и производства антикоррозийного лака на Шугуровском нефтебитумном заводе.

В ближайшие годы при извлечении природных битумов всё большую роль будут играть тепловые и флюидные технологии, включающие гидротермальные процессы [4]. Гидротермальные процессы широко распространены в природных условиях, а также при добыче тяжелых нефтей и природных битумов с применением горячей воды и водяного пара с различными комбинациями ПАВ и газов. При использовании тепловых методов присутствующее в породах органическое вещество (нефть, битум) могут вовлекаться не только в физические процессы, но и в химические превращения.

Содержание органических веществ в различных месторождениях природного битума Татарстана изменяется в широких пределах от 1,1 до 11,0%. Высоким содержанием природного битума характеризуются песчаники из пермских отложений Шугуровского,

Спиридоновского и Мордово-Кармальского месторождений, в которых содержание органического вещества изменяется от 4,0 до 10,5% [5].

Гидротермальное воздействие на образцы битумсодержащих пород позволяет извлекать от 40 до 80% органики. При этом в продуктах гидротермальных превращений увеличивается содержание углеводородов и снижается содержание спирто-бензольных смол и асфальтенов, что делает их состав подобным тяжелым нефтям пермских отложений. Под воздействием гидротермальных факторов происходит генерация более лёгких углеводородов, в том числе н-алканов (C_{10}-C_{30}). В продуктах гидротермальной переработки природных битумов снижается содержание асфальтенов с 60 до 10-12% и увеличивается содержание масел с 8-9 до 24-27% [6].

Чрезвычайно важным аспектом гидротермальных технологий является глубокая деструкция асфальтенов с образованием углеводородов[7]. Асфальтены теряют от 14,5 до 25,5% своей массы с образованием более ценных продуктов (таблица 1).

Таким образом, остаточный нефтяной потенциал различных нефте- и битумоносных пород Татарстана с различным содержанием органического вещества может быть успешно реализован путём извлечения дополнительного количества нефтяных углеводородов с применением гидротермальных методов.

Таблица 1.

Компонентный состав жидких продуктов гидротермальных превращений асфальтенов

Месторождение	Выход, масс.%	УВ, %	СБ, %	ССБ, %	Всего, %	АСФ, %
Шугуровское	21,30	69,06	8,48	13,84	22,32	8,62
Спиридоновское	25,26	48,35	26,21	20,37	46,58	5,07
Ашальчинское	17,67	79,84	3,90	7,89	11,79	8,37
Бавлинское	14,45	79,28	4,31	7,98	12,29	8,43

Примечание: УВ-углеводороды; СБ-смолы бензольные; ССБ-смолы спирто-бензольные; АСФ-асфальтены.

При добыче природных битумов и высоковязких нефтей возникает серьёзная проблема транспорта данных продуктов из-за их высокой вязкости.

В свою очередь вязкостные свойства природных битумов определяются большим содержанием высокомолекулярных асфальтеновых фракций. Для решения этой проблемы можно использовать экстракционные методы деасфальтизации высоковязких нефтей и природных битумов[8].

Содержание высоковязких компонентов в природных битумах достигает 30-32%мас. Так для природного битума Ашальчинского месторождения содержание асфальтенов составляет 6,5% , смол – 33,5% и парафинов около 3,0%. В качестве растворителя можно использовать ацетон,который позволяет осадить высокомолекулярные компоненты и получить лёгкие фракции, пригодные для трубопроводной транспортировки с последующей переработкой. Средняя кратность сырьё:растворитель(ацетон) составляет как 1:3. При этом осаждается до 70% асфальтенов [9,10]. Разработанный процесс достаточно эффективен, технологически приемлем и позволяет применять продукты деасфальтизации Ашальчинского месторождения ПБ в качестве дорожных вяжущих и компонентов асфальтобетона без дополнительной переработки [11].

Термические методы переработки ПБ целесообразно применять лишь при содержании органики более 12-13% масс., в противном случае выделенная органика не обеспечивает поддержание рабочих температур пиролиза в реакторах. Тем не менее, рациональные варианты пиролиза возможны. В работе [12] рассмотрены варианты термического крекинга битумоносных пород РТ, добытых на дневную поверхность рудничными методами.

В частности, было установлено, что максимальный выход газообразных продуктов при термическом крекинге битумоносного песчаника Сугушлинского месторождения достигается при температуре 850°С в атмосфере водорода. Проведение процесса при указанных условиях позволяет получить до 40% газообразных продуктов на природный битум, из которых до 18% приходится на этилен и пропилен. Для получения жидких продуктов термолиза процесс проводят при температуре 480°С в атмосфере водорода. В таблице 2 приведен фракционный состав жидких продуктов термолиза Сугушлинского битумоносного песчаника.

Таблица 2.

Фракционный состав жидких продуктов термического крекинга Сугушлинского битумосодержащего песчаника при температуре 480°С.

Фракции	НК 90-200°С	НК 200-350°С	НК 200-350°С	НК 200-350°С	Остаток
Выход, % мас.	3,68	22,53	52,61	17,82	21,18

Было установлено, что выход жидких продуктов при совместном термическом крекинге Сугушлинского битумоносного песчаника и добавки каменного угля оказывается больше, чем расчетный выход по экспериментальным данным раздельного крекинга компонентов. Это можно объяснить проявлением синергетического эффекта при совместном крекинге. Максимальный эффект наблюдается при содержании каменного угля около 10% масс. Синергетический эффект связан с перераспределением водорода в процессе термического крекинга смеси битумоносного песчаника и каменного угля [13].

Создание новых технологий переработки и использования ПБ до сих пор остаётся актуальной задачей. В наших работах рассматривались различные варианты переработки и использования высоковязких нефтей и природных битумов Республики Татарстан. Основное внимание при этом уделялось сольвентным методам в сочетании с поверхностно-активными веществами [14,15].

Однако, при деасфальтизации природных битумов углеводородными растворителями часть из них остаётся в исходном сырье и в дальнейшем являются нежелательными компонентами масляных фракций при переработке природных битумов. В качестве сырья для деасфальтизации нами использовался природный битум Ашальчинского месторождения. В качестве добавок к растворителю (н-гептан) использовали различные ПАВ (неонол АФ 9-12, дипроксамин-57, доуфакс, дисолван 4490, СНПХ-1004, амфикор и др.). При использовании ПАВ выход асфальтенов при деасфальтизации природных битумов возрастает более чем в 2-3раза и остаточное их количество в сырье снижается до 0,2-0,4%.. При этом при концентрациях ПАВ от 0,005 до 0,05% происходит избирательное перераспределение компонентов между фазами с улучшением качества деасфальтизата. Использование ПАВ позволяет проводить деасфальтизацию природного битума при низких соотношениях растворителя к сырью около 3:1.

Резюмируя вышеизложенное следует отметить, что ключевым направлением в технологиях извлечения, подготовки и переработки ПБ являются процессы их деасфальтизации, которые к настоящему времени достаточно отработаны и имеют реальные перспективы практического использования [16,17].

Список литературы

1. *Старшов И.М., Старшов М.И.* Добыча и переработка битумоносных пород Татарстана // В сб. «Труды Бугульминского филиала КГТУ».- Казань, КГТУ.-2008.-С.61-65.
2. *Старшов М.И., Старшов И.М., Михеева С.А.* Особенности физико-химических свойств природных битумов Республики Татарстан. Сообщение 1.// В сб. «Высшая школа в период модернизации образования».-Казань, КГТУ.-2006.- С.71-75.

3. *Старшов М.И., Старшов И.М., Шайдуллин Т.Ф., Нурисламова С.Ф.* Особенности физико-химических свойств природных битумов Республики Татарстан. Сообщение 2.// В сб. «Высшая школа в период модернизации образования».-Казань, КГТУ.-2006.- С.76-80.
4. *Киямова А.М., Каюкова Г.П., Ганеева Ю.М.* Альтернативные источники углеводородного сырья и возможности реализации их потенциала с применением гидротермальных процессов // Материалы научно-практ. конф. «Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов».- Казань: ФЭН, 2008.- С.236-241.
5. *Каюкова Г.П., Киямова А.М., Романов Г.В.* Технологические качества природных битумов Татарстана в зависимости от химических и геохимических характеристик их состава //Нефтяное хозяйство.- 2008.-№1.- С.22-27.
6. *Каюкова Г.П., Киямова А.М., Нигметзянова Л.З.* Превращения природных битумов при гидротермальных процессах // Нефтяное хозяйство.-2007.-№2.- С.105-109.
7. *Киямова А.*М., *Каюкова Г.П., Морозов В.И.,* Трансформация асфальтеновых компонентов нефти и природных битумов при гидротермальной обработке в открытой системе // Технологии нефти и газа.- 2007.- №1.- С. 40-47.
8. *Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Гончарова И.Н. и др.* Влияние режима подготовки сырья на результаты процесса деасфальтизации // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология.- 2009.-Т.52, вып.10.-С. 96-99.
9. *Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Гончарова И.Н. и др.* Изучение деасфальтизации полярным растворителем природного битума различного фракционного состава // VIII конгресс нефтегазопромышленников России. Материалы Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка – 2009».- Уфа.- С.82-84.
10. *Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Лутфуллин М.Ф и др.* Обобщенные закономерности процесса деасфальтизации тяжелого нефтяного сырья // VIII конгресс нефтегазопромышленников России. Материалы Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка – 2009».- Уфа.- С.78-80.
11. *Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Гончарова И.Н. и др.* Изучение свойств асфальтобетонов неокисленных остаточных битумов, полученных деасфальтизацией природного битума // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология.-2009.-Т.52, вып.4.-С. 88-91.
12. *Старшов И.М., Старшов М.И., Харлампиди Х.Э.* Термический способ переработки битумосодержащих пород //Вестник казанского технологического университета.-2009.-№5.- С. 339-342.
13. *Старшов М.И., Старшов И.М.* Способ переработки битумосодержащих пород // В матер. научной конф. «Нетрадиционные коллекторы нефти, газа и природных битумов. Проблемы их освоения.-Казань, КГУ.-2005.- С. 258-259.
14. *Каюмова Н.Р., Старшов М.И., Половняк В.К.* Применение нефтяных композиций для интенсификации добычи трудноизвлекаемых нефтей и природных битумов. Сообщение 1: Применение углеводородных композиций в нефтедобывающей промышленности //Регион. научно-технол. центр Урало-Поволжья.- Бугульма, 1998.-39с.- Деп. ВИНИТИ 21.08.1998.- №2633-В98.
15. *Каюмова Н.Р., Старшов М.И., Половняк В.К.* Применение нефтяных композиций для интенсификации добычи трудноизвлекаемых нефтей и природных битумов. Сообщение 2: Применение неорганических пероксидных соединений в нефтепромысловой практике //Регион. научно-технол. центр Урало-Поволжья.- Бугульма, 1998.-8с.- Деп. ВИНИТИ 21.08.1998.-№2634-В98.
16. Патент 2174532 РФ, МКИ^7 С 10 G 21/14 Способ деасфальтизации высоковязкой нефти и природного битума /М.И. Старшов, Н.Р. Каюмова, В.К. Половняк и др..- БИ №28.-2001г.
17. Патент 2175341 РФ, МКИ^7 С 10 G 21/14 Способ деасфальтизации высоковязкой нефти и природного битума /М.И. Старшов, Н.Р. Каюмова, В.К. Половняк и др..- БИ №30.-2001г.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.02.04

А.О. Артемов, М.Н. Игнатов д.т.н., А.М. Игнатова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

О ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОМ ОПИСАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

Рассматриваются различные подходы к феноменологическому описанию деформационного поведения синтетических минеральных сплавов, получены аналитические данные по характеристики их релаксации, которые подтверждены экспериментально. Экспериментально установлен предел упругости и величина ползучести.

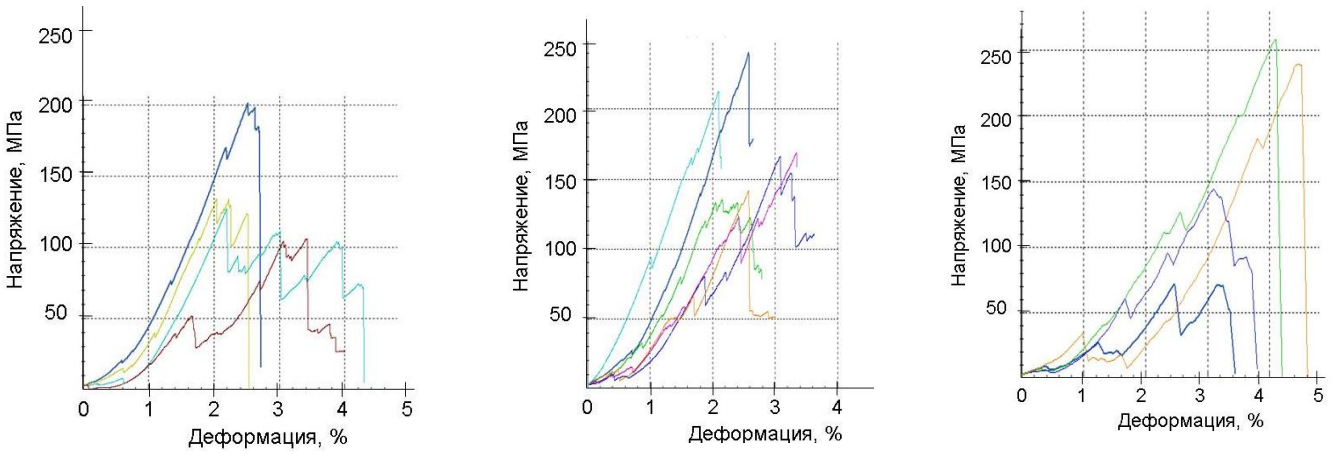
Ключевые слова: *деформация, релаксация, ползучесть, синтетические минеральные сплавы, одноосное сжатие.*

Синтетические минеральные сплавы (симиналы) – материалы, синтезированные из неметаллических минералого-оксидных расплавов, обладают по мимо высокой твердости и стойкости в агрессивных средах высокими показателями прочности при сжатие порядка 200-250 МПа [1-2]. Экспериментальные данные [3] указывают на то, что характер деформации симиналов и их прочностные показатели зависят от скорости деформации так, чем выше скорость, тем ниже показатель предела прочности и тем выше величина деформации. Значительное влияние скорости деформации на прочностные характеристики указывает на то, что в значительной степени на процесс деформирования влияют релаксационные процессы, которые применительно к симиналам до последнего времени не подвергались подробному изучению.

Целью настоящей работы является феноменологическое описание релаксационных процессов при деформировании симиналов.

В статье рассматриваются результаты, полученные при механических испытаниях на универсальной испытательной машине (УИМ) марки Zwick – Z250 (Германия) и обработанные с помощью программного обеспечения TestXpert. Испытания проводились на образцах силикат-хромитового симинала при одноосном сжатии: при скоростях 0,5; 1 и 10 мм/мин (рис. 1).

Зависимости прочности и деформации имеют, как указывалось ранее [3], пилообразный вид, так образованию крупного пика, как правило, предшествовал резкий звук и образование трещины, появление менее выраженных пиков не сопровождались внешними проявлениями. Такая реакция образцов при разных скоростях подачи нагрузки происходила с определенным запаздыванием, то есть после подачи нагрузки некоторое время с образцом ничего не происходила, а последующие изменения имели скачкообразный характер. Иными словами деформирование образцов можно описать как прерывистый, а не плавный процесс.

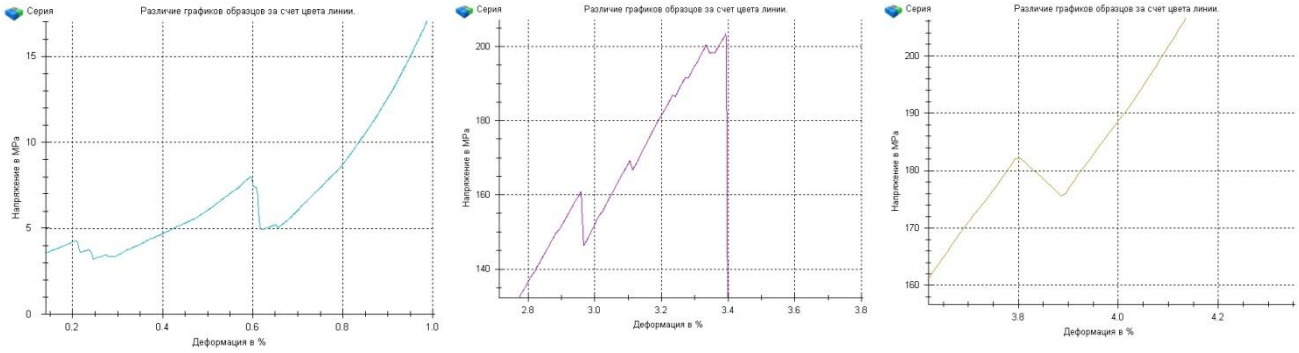


а б в

Рис. 1. Показатели прочности и деформации при различных скоростях нагружения:
а – 0,5 мм/мин, б – 1 мм/мин, в – 10 мм/мин

Анализ диаграмм, полученных при разных скоростях нагружения показал, что они имеют различное количество пиков, пики отличаются между собой по форме, причем углы наклона этих диаграмм относительно оси *x* отличаются между собой. Так чем выше скорость деформации, тем острее угол, а именно для скорости 0,5 мм/мин он составил – 37-50°, для 1мм/мин – 15-45°, а для 10 мм/мин – 10-15°.

Параметры пиков, а именно их высота, ширина и площадь так же отличаются. Так на диаграммах, полученных при скорости нагружения 0,5 мм/мин среднее общее количество пиков составило 5-6, высоты пиков 7 мм (рис. 2,а), ширина пиков 6 мм, площадь пиков 21 мм^2 (рис. 2,а); при скорости 1 мм/мин - среднее количество пиков составило 5-4, высоты пиков 7мм, ширина пиков 4мм, площадь пиков 14 мм^2(рис. 2,б); при скорости 10 мм/мин - среднее количество пиков составило 3-4, высоты пиков 5мм, ширина пиков 8мм, площадь пиков 20 мм^2 (рис. 2,в).



а б в

Рис. 2. Укрупненное изображение наиболее характерных участков пиков диаграмм механических испытаний образцов при скоростях:
а – 0,5 мм/мин, б – 1 мм/мин, в – 10 мм/мин

Наблюдается тенденция, что чем выше скорость деформирования тем меньше количество пиков. При наиболее высоких скоростях пики более симметричны, а кривые более ровные, имеют меньше число изломов. Данное обстоятельство указывает на то, что при меньших скоростях релаксационные процессы протекают более последовательно и в более полном объеме, а при больших скоростях релаксационные процессы протекают не в полном объеме, поскольку для этого просто недостаточно времени. Асимметрия пиков указывает на то, что первой реакцией симиналов на деформирование является деформирование структурной составляющей пироксенового типа модуль Юнга которой составляет Е=90ГПа, а затем аморфной составляющей, у которой Е=70ГПа, ее деформирование ограничивается,

распределенной внутри нее фазой хромита, модуль Юнга которой составляет E=100-120 ГПа [4]. Релаксация позволяет структурным составляющим сместиться относительно друг друга и занять равновесное для данной нагрузки положение. Основная характеристика релаксации это время необходимое для процесса в результате, которого первоначальная величина напряжений при строго зафиксированной деформации снизилась в *e* раз (*e* - основание натуральных логарифмов, равное 2,718). Чем меньше время релаксации, тем меньше материал имеет способность к пластическому деформированию и тем более хрупким он является. Однако, релаксация может рассматриваться и как самопроизвольное падение напряжения, то есть она может выражать разницу между реальной нагрузкой до и после релаксационных процессов – именно этот показатель рассматривается нами как показатель релаксации.

Используя известные исследования и методы феноменологического описания диаграмм «напряжение-деформация» [5] позволили нам вычислить характеристику релаксации. Нами были выбраны три методики: первая – модель Максвелла [6], вторая – описанная Н.К. Раковым и А.А. Предводителевым [7] и третья описанная С.Н. Комник и В.З. Бенгус [8]. Математическая интерпретация методик, а так же результаты, полученные с их помощью представлены в табл. 1.

Данные методики были выбраны нами, так как они использовались для описания материалов подобных синтетическим минеральным сплавам. Модель Максвелла [6] была выбрана, потому, что она основано на представлении, что тело состоит из двух составляющих упругой и вязкой. Твердая фаза это идеально упругая среда - подчиняющаяся закону Гука, вязкая – фаза склонная к течению и легко поддающаяся деформированию. Данное представление о материале достаточно точно описывается макроструктурами, исследованных симиналов [9], в которых есть малодеформируемая фаза - хромит и более пластичная фаза - пироксен. Методика, изложенная Н.К. Раковым и А.А. Предводителевым [7] рассматривает релаксацию, как процесс, компенсирующий напряжение при сдвиге в кристалле. Методика, представленная С.Н. Комник и В.З. Бенгус [8], позволяет использовать в расчете значения величины Δτ, δτ соответствующие экспериментальным данным (рис. 3).

Таблица 1

Результаты аналитической оценки расчета величины релаксации симиналов

Разновидность метода	Математический закон	Результат расчета релаксации, МПа
модель вязко-упругого релаксирующего тела Максвелла	$\varepsilon = \dot{\tau}/G + \tau/\eta$ *	39,06
Метод Н.К. Ракова и А.А. Предводителева	$\Delta\varepsilon=2b(S_k\sin\alpha+S_b)\cos\alpha$**	45,56
Метод С.Н. Комник и В.З. Бенгус	$\Delta\varepsilon=\Delta\tau=\frac{S}{l}\left(\frac{1}{k}+\frac{l}{SE}\right)2\sqrt{2}$ ***	25,07

* τ – напряжение, G – модуль упругости, η – вязкость среды

** Δε - деформация ползучести; b- вектор Бюргерса; α– угол между плоскостью скольжения и осью образца; S_k ,S_b – средний суммарный путь, проходимый концами краевых и винтовых дислокаций на единице площади боковой поверхности кристалла за определенное время.

*** S,l,E – соответственно площадь поперечного сечения, длина и модуль Юнга; k – жесткость машины; Δτ – изменение действующего касательного напряжения, δτ –релаксация упрочнения

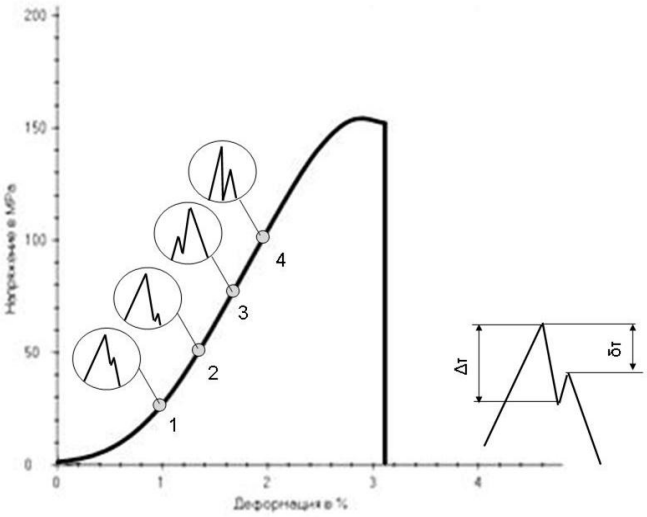


Рис. 3. Схема измерений для определения величины Δτ и δτ к расчету по методу С.Н. Комник и В.З. Бенгус: Δτ – изменение действующего касательно напряжения, δτ –релаксация упрочнения; 1,2,3,4 – характерные пики на кривых.

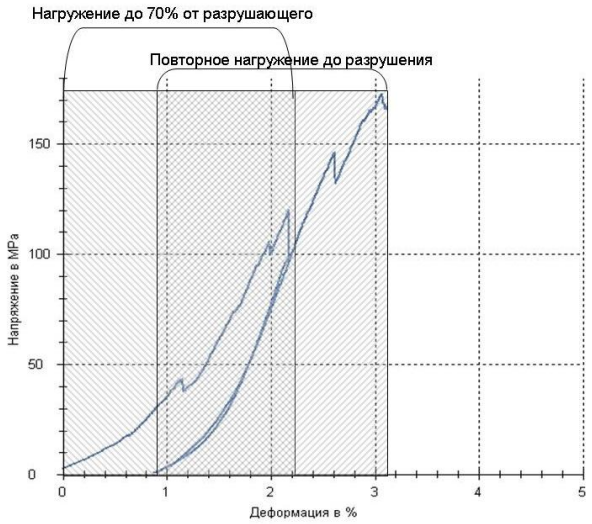


Рис. 4. Диаграмма последовательного нагружения для вычисления предела упругости

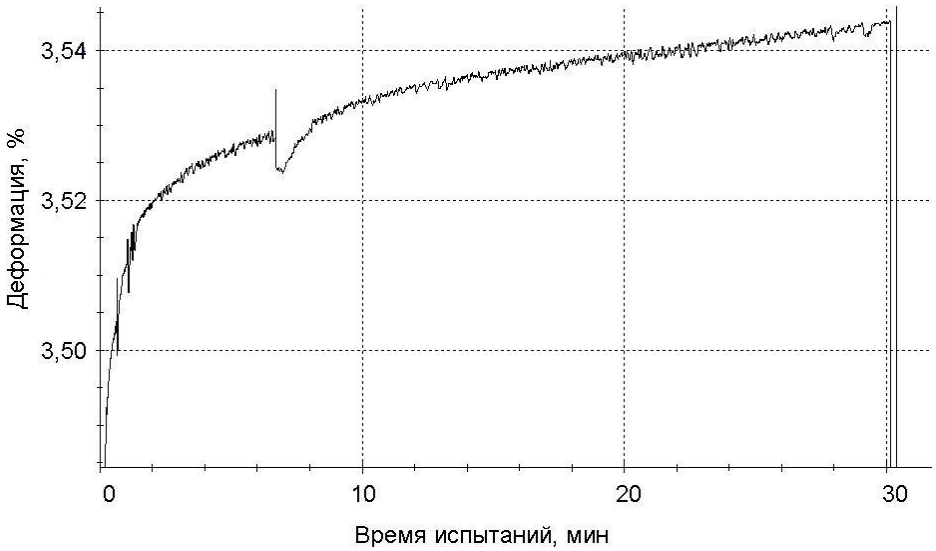


Рис. 5. Диаграмма ползучести

Для того, что бы охарактеризовать релаксационное поведение симиналов более точно, были проведены эксперименты по определению предела упругости (рис. 4) и величины ползучести (рис. 5).

В результате которых было установлено, что величина ползучести не превышает 5,5% от изначального геометрического параметра, величина предела упругости 25МПа, а величина разницы между напряжением до релаксации и после составила в среднем 30 МПа. При эксперименте по определению предела упругости (рис. 4) на образец подавалась нагрузка в размере 70% от разрушающей, затем напряжение снималось и проводилось повторное нагружение, уже доводимое до разрушения. Установлено, что повторное деформирование приводит, к более плавному ходу кривой с меньшим количеством пиков, и с отсутствием площадок ползучести, что свидетельствует о том, что релаксационные изменения в структуре при деформировании не являются полностью упругими.

Таким образом, предложено феноменологическом описание релаксационных процессов при деформировании синтетических минеральных сплавов; вычислена расчетная величина релаксации симиналов, которая составляет 25-39 МПа. Расчетные величина подтверждена экспериментальными исследованиями, согласно которым величина релаксации составила 30 МПа. Установлено, что релаксационные изменения не являются полностью упругими.

Список литературы

1. *Быков И.И.* Исследование некоторых теплофизических и механических свойств каменного литья/И.И. Быков// Технология и организация производство. – 1964, № 4. – 8-11 с.
2. *Игнатова А.М., Ханов А.М., Скачков А.П.* Исследование структуры и свойств камнелитых материалов методом наноиндентирования// «Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение» . - №1, т.12, 2010. – с. 139-150.
3. *Игнатова А.М., Мерзляков А.Ф., Ханов А.М.* Методика и оборудование определение предела механической прочности на сжатие литых образцов синтетических минеральных сплавов.// «Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение» . - №3, т.12, 2010.
4. *Игнатова А.М.* Исследование и разработка схемы абразивного изнашивания поверхности синтетических минеральных сплавов склерометрическими измерениями// Вестник Тамбовского университета, серия: Естественные и технические науки. - №3, т. 15, 2010. – 1203-1208 с.
5. *Александров В.М., Пожарский Д.А.* Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. М.: Факториал, 1998.
6. *Панин В.Е., Гриняев Ю.В.* Физическая мезомеханика – новая парадигма на стыке физики и механики деформируемого твердого тела// Физ. Мезомех. – 2003. – Т.6. - №4. – с. 9-36.
7. *Раков Н.К.* Предводителев А.А, Исследования в кристаллах хлористого натрия релаксации напряжений и ползучести, обусловленные движением дислокаций// В сб. «Релаксационные явления в твердых телах». – М: Металлургия, 1968. – с. 283-288.
8. *Комик С.Н., Бенгуз В.З.* О релаксации напряжения в деформированных щелочно-галоидных кристаллах// В сб. «Релаксационные явления в твердых телах». – М: Металлургия, 1968. – с. 289-294.
9. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Артемов А.О.* Деформирование и разрушение образцов камнелитых изделий из симиналов типа базальтов в условиях одноосного сжатия. – Тр. V Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования». – Екатеринбург: ГУ УрО РАН. – 2011. – 46-51 с.

01.01.06

В.В. Дружинин д.ф.-м.н., Л.А. Лобов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт
кафедра высшей математики
г. Саров, MailBox@Lobov.LA

РАЗЛОЖЕНИЕ ОБРАТНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ ЧИСЕЛ НА ДРОБИ

Получен алгоритм разложения дробного рационального числа на сумму простых дробей. Использован метод многоцентрового ряда Лорана. Получены новые соотношения между факториалами и новые суммы числовых рядов.

Ключевые слова: *ряд Лорана, рациональные функции, ряды.*

В элементарной математике сложение дробных рациональных чисел производится путем создания их наименьшего общего знаменателя. Что касается обратной задачи разложения произведения рациональных чисел на элементарные дроби с данными сомножителями в знаменателях, то формально эта задача решается логарифмированием. При этом мы получаем сумму иррациональных чисел, из которых необходимо получить рациональную дробь. В статье предлагается простой аналитический метод такого разложения, основанный на свойствах многоцентрового ряда Лорана.

Пусть имеем число

$$A = \frac{1}{\prod_{k=1}^{n} a_k^{\beta_k}} = \frac{1}{a_1^{\beta_1} \cdot a_2^{\beta_2} \cdot \ldots \cdot a_n^{\beta_n}}, \tag{1}$$

где a_k – составные или простые натуральные числа, β_k – натуральные степени чисел a_k. Требуется разложить число А на сумму (всего слагаемых $m = \sum_{k=1}^{n} \beta_k$) рациональных чисел

$$A = \sum_{k=1}^{n} \sum_{t=1}^{a_k} \frac{B_{kt}}{a_k^t}. \tag{2}$$

Данная задача возникает в теории чисел для обратного канонического разложения А , если все a_k простые числа; для округления чисел; для анализа возможной внутренней структуры числа или функции; для определения сходимости числовых рядов; определения величин конечных, но больших сумм. В физических задачах такое разложение может указать, например, на сумму действующих сил создающих наблюдаемую силу.

Рассмотрим разложение в многоцентровый ряд Лорана мероморфной (рациональной) функции

$$f(x) = \frac{1}{\prod_{k=1}^{n} (\alpha_k - x)^{\beta_k}} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{t=1}^{a_k} \frac{B_{kt}}{(\alpha_k - x)^t}. \tag{3}$$

Вывод расчета коэффициентов ряда Лорана для полюсов α_k – порядка β_k изложен в учебниках и монографиях по теории функций комплексного переменного [1-4] и он легко обобщается на случай многоцентрового ряда Лорана

$$B_{kt} = \frac{(-1)^{t+\sum_{k=1}^{n} \beta_k}}{(\beta_k - t)!} \lim_{x \to a_k} \frac{d^{\beta_k - t}}{dx^{\beta_k - t}} \left\{ \prod_{s(\neq k)=1}^{n} \frac{1}{(x - a_s)^{\beta_s}} \right\}. \tag{4}$$

Взяв в (3) x = 0, имеем f(0) = A, т.е. мы получили нужное нам разложение (2) с коэффициентами (4).

Если в (1) все $\beta_k = 1$, т. е. мы имеем простые полюса в (3), то формула (4) заметно упрощается

$$B_k = \prod_{s(\neq k)=1}^{n} \frac{1}{(\alpha_s - a_k)} = \frac{1}{(a_1 - a_k)(a_2 - a_k)\ldots(a_{k-1} - a_k)(a_{k+1} - a_k)\ldots(a_n - a_k)} =$$

$$= \lim_{x \to a_k}\{1/[d\prod_{s=1}^{n}(x - a_s)/dx]\}, \tag{5}$$

и разложение имеет вид

$$A = \frac{1}{\prod_{k=1}^{n} a_k} = \frac{1}{a_1 \cdot a_2 \cdot \ldots \cdot a_n} = \sum_{k=1}^{n} \frac{B_k}{a_k}. \tag{6}$$

Примеры. Разложим числа $A = \frac{1}{3\cdot5\cdot7\cdot53}$ и $C = \frac{1}{2^2\cdot3}$ на составляющие дроби. Из (5) и (6) следует, что

$$A = \frac{1}{3\cdot(2\cdot4\cdot50)} - \frac{1}{5\cdot(2\cdot2\cdot48)} + \frac{1}{7\cdot(4\cdot2\cdot46)} - \frac{1}{53\cdot(50\cdot48\cdot46)}.$$

Из расчета видно, что последним слагаемым можно пренебречь при оценке A.

Число C, согласно (2) и (4), требует дифференцирования, что дает

$$C = \frac{1}{2^2\cdot3} = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3}. \tag{7}$$

Этот подход, по нашим сведениям, не описан в литературе. Более того, разложение обычной рациональной дроби $f(x) = P_n(x)/\prod_{k=1}^{n}(a_k - x)$ почти во всех справочниках и учебниках по высшей математике предлагают осуществлять численно методом неопределенных коэффициентов, а про метод ряда Лорана даже не дается ссылка. В [1] метод ряда Лорана указан при рассмотрении одного примера. По формулам (3) и (4) это разложение делается, во-первых, аналитически, а во-вторых, практически мгновенно. При простых полюсах в знаменателе даже не требуется знания производных.

Пример. $f(x) = \frac{x^2-5}{(x-1)(x-3)(x+4)(x-7)(x+1)} = -\frac{4}{(x-1)2\cdot5\cdot6\cdot2} - \frac{4}{(x-3)2\cdot7\cdot4\cdot4} +$

$$+\frac{11}{(x+4)5\cdot7\cdot11\cdot3} + \frac{44}{(x-7)6\cdot4\cdot11\cdot8} - \frac{4}{(x+1)2\cdot4\cdot3\cdot8}. \tag{8}$$

Метод неопределенных коэффициентов в этом примере потребовал бы сложения пяти дробей с нахождением общего наименьшего знаменателя, составления системы пяти линейных уравнений и решения их.

Конечно, вопрос о разложении мероморфной функции на элементарные дроби рассматривался в теории функций комплексного переменного еще в XIX в. в работах Лиувилля. В учебнике [2] приведена следующая правильная сама по себе формула (§ 31, (4))

$$f(z) = \frac{P_m(z)}{\prod_{k=1}^{n}(z_k - z)} =$$

$$= f(0) + \sum_{k=1}^{n} \frac{P_m(z_k)}{\left\{\prod_{s(\neq k)=1}^{n}(z_k - z_s)\right\}(z_k - z)} + \sum_{k=1}^{n} \frac{P_m(z_k)}{\left\{\prod_{s(\neq k)=1}^{n}(z_k - z_s)\right\}(z_k)}. \tag{9}$$

Между тем анализ показывает, что первое и третье слагаемые в (9) имеют разные знаки, равны по модулю и сокращаются, т. е. остается только одно второе слагаемое. По-видимому, наличие трех трудно считаемых вкладов, два из которых взаимно уничтожаются, не привело к широкому применению формулы Лиувилля при описании разложения рациональных функций в учебниках. В этом же учебнике [2] несколько ранее (§ 28, формулы (3,4)) дается такое же разложение, но без первого и третьего слагаемых.

Рассмотрим некоторые применения полученных соотношений. Пусть дана конечная сумма, где n можно потом устремить на бесконечность,

$$\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{k(k+m)}=\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{1}{km}-\frac{1}{m(k+m)}\right)=\frac{n}{m}\sum_{k=1}^{m}\frac{1}{k(n+k)}. \qquad (10)$$

Формула (10) получена перебором m = 1 (описано в учебниках), 2, 3,… с использованием метода математической индукции. Заметим, что в правой части может стоять значительно меньшая сумма по m, чем сумма по n в левой части.

Пример. Найдем сумму ряда по (10)

$$\sum_{k=1}^{100}\frac{1}{k(k+3)}=\frac{100}{3}\left(\frac{1}{101}+\frac{1}{204}+\frac{1}{309}\right)\approx 0{,}6013.$$

Совершив в (10) предельный переход, и устремив n к бесконечности, получим аналитическое выражение для суммы рядов

$$\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k(k+m)}=\sum_{k=1}^{m}\frac{1}{km}. \qquad (11)$$

В частности

$$\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k(k+1)}=1;\qquad \sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k(k+2)}=\frac{3}{2};\quad \sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k(k+3)}=\frac{11}{8}. \qquad (12)$$

В справочниках [5-7] приводятся суммы числовых рядов, но в основном не в формульном виде, как у нас в (11), а в конкретном числовом выражении, причем не более 15 – 20 видов. Наш подход может значительно увеличить этот набор, причём в формульном виде. Приведем некоторые наши результаты.

$$\frac{1}{k^n(k+2)}=\frac{(-1)^n}{2^n(k+2)}+\sum_{s=1}^{n}\left\{\frac{(-1)^{n+s}}{k^s 2^{n-s+1}}\right\}.\quad \sum_{k=1}^{n}\frac{1}{k(k+3)}=\frac{11}{18}-\frac{3n^2+12n+11}{3(n+1)(n+2)(n+3)}.$$

$$\sum_{k=2}^{n}\frac{1}{k^2(k-1)}=\frac{n-1}{n}-\sum_{k=2}^{n}\frac{1}{k^2}.\qquad \sum_{k=1}^{n}\frac{1}{(k+1)(k+2)(k+3)}=\frac{(n+2)(n+3)-6}{12(n+2)(n+3)}.$$

$$\sum_{k=n_1}^{n_2}\frac{1}{k(k+m)}=\frac{n_2-n_1+1}{m}\sum_{k=1}^{m}\frac{1}{(k+n_2)(k+n_1-1)}.\qquad \sum_{k=1}^{\infty}\frac{k+1}{k^2(k+2)}=\frac{3}{8}+\frac{\pi^2}{12}. \qquad (13)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k^2(k+2)}=\frac{\pi^2}{12}-\frac{3}{8}.$$

$$\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{(k+m_1)(k+m_2)}=\frac{n}{m_2-m_1}\sum_{k=1}^{m_2-m_1}\frac{1}{(k+n+m_1)(k+m_1)}. \qquad (14)$$

В (14) $n\geq m_2-m_1, m_2>m_1$.

Нами при конкретных расчетах получено много новых сумм рядов, но мы их не приводим, так как по предложенной методике их можно получить самостоятельно.

Разложение дробного числа на составляющие позволяет получить различные новые соотношения, например, между биномиальными коэффициентами. Если имеем дробь с двойными факториалами $A = 1/(nm+1)!!$, (разность между ближайшими сомножителями есть m, т. е. $(mn+1)!! = \prod_{k=0}^{n}(mk+1)$), то ее можно разложить на отдельные составляющие. Рассмотри эту задачу на отдельном примере.

$$\frac{1}{(3n+1)!!} = \frac{1}{1\cdot 4\cdot 7\cdot \ldots \cdot (3n+1)} =$$

$$= \sum_{k=0}^{n} \frac{1}{(3k+1)\left(\prod_{s=0}^{k-1}(3s-3k)\right)\left(\prod_{s=k+1}^{n}(3s-3k)\right)} = \sum_{k=0}^{n} \frac{(-1)^k}{(3k+1)3^n k!(n-k)!}. \quad (15)$$

Умножив (15) на $3^n n!$, получим выражение для сумм биномиальных коэффициентов C_n^k

$$\frac{3^n n!}{(3n+1)!!} = \sum_{k=0}^{n} \frac{(-1)^k C_n^k}{(3k+1)}, \quad (16)$$

которое обобщается следующим образом

$$\frac{m^n n!}{(mn+1)!!} = \sum_{k=0}^{n} \frac{(-1)^k C_n^k}{(mk+1)}. \quad (17)$$

Работа докладывалась на общей конференции МФТИ в декабре 2010 г, на семинаре «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» в ННГУ в Нижнем Новгороде в феврале 2010 и на VI Всероссийской школе «Математика и математическое моделирование» в апреле 2010 г. в г. Саров. Более подробно задача описана в препринте СарФТИ НИЯУ МИФИ 2010 г.: Дружинин В.В. и Лобов Л.А. «Разложение рациональной функции методом многоцентрового ряда Лорана».

Авторы благодарят д.ф.м.н, профессора А.И. Голубева из РФЯЦ-ВНИИЭФ за обсуждение статьи и ценные замечания.

Список литературы

1. *Ильин В.А., Позняк Э.Г.* Основы математического анализа. – М.: Наука, Физматлит, 2000.
2. *Сидоров Ю.В., Федорюк М.В., Шабунин М.В.* Лекции по теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, ФМЛ, 1989.
3. *Поздняков М.Н., Рыбин С.Н.* Дискретная математика. – М.: Академия, 2008.
4. *Виноградов И.М.* Основы теории чисел. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1981.
5. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов. – М.: ГИФМЛ, 1962.
6. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. – М.: ГИФМЛ, 1974.
7. Краткий физико-технический справочник, под ред. К. П. Яковлева. – М.: ГИФМЛ, 1960.

01.02.04

А.М. Игнатова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО ИСКАЖЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРЕШЕНИИ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В работе предложена модель процесса деформации и разрушения синтетических минеральных сплавов, а так же соответствующие им закономерности, основанием для составления модели служили результаты регистрации акустической эмиссии в процессе одноосного нагружения образцов.

Ключевые слова: *Петургия, каменное литье, деформация, разрушение, акустическая эмиссия.*

Деформация материала – сложный многоуровневый и многостадийный процесс, подразумевающий искажение структуры, за счет взаимного перемещения ее составляющих частей. Предсказать поведение структурных составляющих в процессе деформации затруднительно. Установить механизм процесса деформации и разрушения по образцам материалов после проведения испытаний не представляется возможным, а потому исследования позволяющие зафиксировать структурные изменения, происходящие непосредственно в процессе деформирования являются актуальными, в особенности для материалов с многофазной структурой.

Материалами, для которых характерно многофазное строение со сложной размерной иерархией и разной степенью упорядоченности структурных составляющих являются синтетические минеральные сплавы (симиналы).

Синтетические минеральные сплавы (симиналы) – это группа материалов, получаемых при контролируемой кристаллизации расплавленных горных пород или техногенных отходов металлургии основного и ультраосновного характера, в процессе формирования изделий и последующей их термической обработке.

Принцип технологии синтеза симиналов, или как ее еще называют технологии каменного литья, заключается в том, что из шихты (моно – или многокомпонентной) получают жидкий расплав. Для этого используются электрические и/или топливные плавильные агрегаты. Полученный расплав заливают в формы, после чего он кристаллизуется и подвергается термической обработке. В общем виде такая термообработка представляет собой процесс, разделенный на два этапа. Первый этап заключается в выдержке расплава при температуре ниже температуры плавления приблизительно на 300-400°С в течение 2 часов, второй этап подразумевает охлаждение до комнатной температуры со скоростью 20-30°С /ч.

Структура симиналов представляет собой совокупность кристаллических составляющих размером от 100 нм до 800 мкм и аморфной стекловатой фазы, в которой имеются нанокристаллические образования [1]. Кристаллические составляющие представляют собой сложные комплексные минеральные соединения группы пироксенов, шпинелидов и силикатов. Благодаря тому, что структура представляет собой анизотропную систему кристаллических и аморфных участков, некоторые свойства симиналов достигают крайне высоких значений. Например, твердость некоторых разновидностей достигает 8 баллов по шкале Мооса, химическая стойкость достигает 98%, а термостойкость порядка 150-200 теплосмен [2].

Целью настоящей работы является изучение характерных структурных изменений синтетических минеральных сплавов при деформации методом регистрации акустической эмиссии.

Объектами исследования являются симиналы отличающиеся между собой и по составу (табл. 1) и по назначению.

Таблица 1

Химический оксидный состав симиналов

Тип симинала	Содержание оксидов, мас., %										
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Cr_2O_3
Термостойкий	*56,10*	*0,39*	*6,71*	-	*3,09*	*0,06*	*13,81*	*18,79*	*0,08*	*0,32*	-
Износостойкий	47,00	1,27	12,02	11,50	3,39	0,25	10,78	10,66	1,44	0,39	2,45

Известно [3], что процесс пластической деформации обусловлен перемещением дислокаций, в результате которого возникает внутреннее трение, изменение объема, внутреннее напряжение и образование микротрещин. Все эти процессы сопровождаются возникновением и распространением акустических волн, такое явление носит название акустическая эмиссия. Регистрация и расшифровка этих волн позволяет установить информацию о структурных процессах, происходящих в материале в процессе деформирования. При чем по интенсивности, частоте и энергии колебаний можно не только зафиксировать факт протекания какого либо процесса в структуре, но и идентифицировать его [4-5].

В рамках данного исследования, образцы симиналов были подвергнуты испытаниям на сжатие на универсальной испытательной машине (УИМ) марки Zwick – Z250 (Германия) [6]. Все изменения, происходящие в ходе испытания, а так же все входные и выходные значения фиксировали и обрабатывали с помощью универсального программного обеспечения TestXpert, которое входит в комплектацию установки. Регистрацию акустической эмиссии осуществляли с помощью акустико – эмиссионного комплекса AEC – USB – 8.

Результаты испытаний представлены в табл. 2 и на рис. 1. По наклонной линейной части кривой, был вычислен модуль Юнга для термостойких симиналов $E=(6,2\text{-}9,3)\cdot10^4$ МПа, для износостойких $E=(6,0\text{-}8,3)\cdot10^4$ МПа. Полная деформация симиналов составила для термостойких $\varepsilon_п = 6,7\%$, для износостойких $\varepsilon_п = 6,1\%$. Предел прочности для термостойких – $\sigma_{пред}$ =140-145 МПа, для износостойких- $\sigma_{пред}$ =260-265 МПа, величина необратимой деформации составила для термостойких $\varepsilon=2,97\%$ и для износостойких $\varepsilon = 3,13\%$.

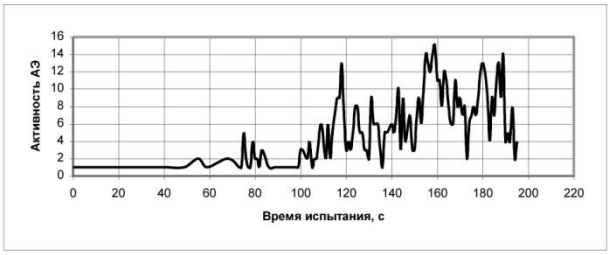
Таблица 2

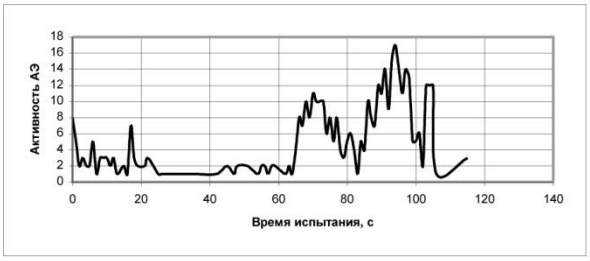
Средние значения результатов зафиксированных параметров при акустической активности в процессе деформирования симиналов

Тип симинала	F_{max}, кН	$\sigma_м$, MPa	$\varepsilon_м$, %	S_0, мм^2	$t_{исп}$, с	$V_{исп}$, мм/мин
Износостойкий	*20,6*	*261,3*	*3,13*	*77,19*	*202*	0,2
Термостойкий	*10,8*	*141,2*	*2,97*	*77,6*	*183*	0,2

Разрушение образцов имело определенные особенности, прежде всего, следует отметить, что явного пластического деформирования образцов не происходило, вместо этого от образцов откалывались и отслаивались частицы, а затем происходило хрупкое разрушение с интенсивным разлетом осколков. Однако, следует заметить, что более явно это наблюдалось при деформировании износостойких симиналов и менее явно при деформировании термостойких симиналов. Очевидно, что определенную роль в этом играют структурные

особенности, в частности в термостойких симиналах размер структурных составляющих более крупный и в нем доля аморфного компонента несколько ниже (табл. 1) [7].





а б

Рис. 1. Графическая зависимость акустической активности от времени в процессе деформирования образцов: а – износостойкий, б – термостойкий

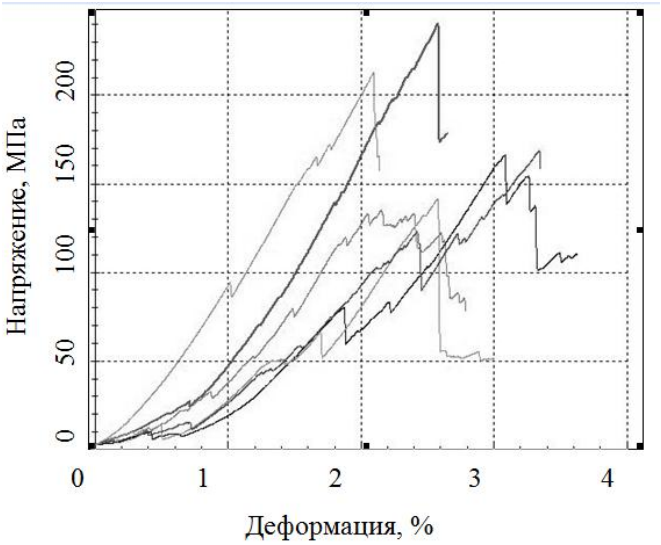


Рис. 2. Диаграмма прочностных испытаний образцов симиналов при разных скоростях нагружения

Объяснить вышеописанное поведение образцов при испытании представляется возможным с точки зрения прерывистого течения (эффект Портевина-Ле-Шателье), оно возникает при нелинейном поведение системы, то есть образец при деформации изменяется в объеме не непрерывно, а внезапными скачками. Это делает кривую деформации пилообразной (рис. 2) [8].

Прерывистое течение, вызванное пластической деформацией сопровождается перемещением дислокаций, движение дислокаций вызвано диссипацией энергии, которая привносится в структуру при внешнем деформационном воздействии, а значит есть два типа движения дислокаций трансляционный и ротационный. *Трансляционный сдвиг* - это перемещение дислокаций параллельно самим себе в каком-либо направлении. *Ротационный поворот* - это поворот дислокаций как единого целого вокруг какой-либо точки. Последующие явления, возникающие при деформации, являются уже производными от перемещения дислокаций [9].

Однако, при трактовании механизма деформации симиналов по полученным данным, следует помнить, что в его структуре встречаются и кристаллические, и аморфное составляющие. При деформации структуры, состоящей из кристаллических составляющих возникает целый спектр волн пластической деформации различной длины, которые определяют иерархию структурных уровней деформации в заданной среде [10-11]. Если в материале нет внутренней структуры (аморфное состояние), определяющую роль в распространении волны пластического течения играют боковые поверхности образца, что

частично и наблюдается при проведение экспериментов, поскольку первые частицы откалываются именно с боковых поверхностей образца.

Очевидно, что при деформировании симиналов, процессы происходящие в отдельных участках их структуры следует сначала рассматривать отдельно, а затем оценить их комплексное влияние на весь процесс.

Для того, что бы оценить поведение отдельных структурных составляющих следует расшифровать пики акустической активности. Поскольку аморфная составляющая структуры симиналов подобна кварцу, а о его поведение при пластическом деформирование нет точных данных, а известно [12], что он практически до момента разрушения остается упругим, то мы принимаем, что все зарегистрированные сигналы в большей степени относятся к поведению кристаллических составляющих (рис. 1).

Процесс пластической деформации кристаллического твердого тела рассматривается в виде коррелированной последовательности элементарных актов разрядки концентраторов напряжений, сопровождающихся рождением дефектов. Каждый акт разрядки (элементарный акт пластичности) ускоряет срабатывание соседних концентраторов. В целом, процесс пластической деформации представляется в виде распространения фронта волны активизации концентраторов напряжений. Поскольку в основе модели лежит элементарный акт релаксации напряжений, в работах введен термин «релаксационные волны» [13], которые в данном случае рассматриваются как диссипативная пространственно-временная структура. В процессе формирования релаксационной волны разгрузка каких-либо зерен поликристаллов вызывает, с одной стороны, рост напряжений на близко расположенных концентраторах, а с другой стороны, снижает общий уровень напряжений во всем объеме деформируемого образца.

Иными словами, при деформировании в структурных составляющих происходит перемещение дислокаций (возможно двух типов), оно сопровождается накоплением напряжений, которые либо релаксируются, в том случае, когда скорость деформации выше скорости релаксации, либо приводят к образованию трещины. Это подтверждается тем, как указывают многочисленные исследования [14], что при регистрации акустической эмиссии фиксируется всего два типа сигналов: первые – это сигналы, возникающие при перемещение дислокаций и других дефектов, вторые – при возникновении трещин [15]. Два типа сигналов визуально могут быть идентифицированы на кривых (рис. 1). Первый, с крутым фронтом и быстрозатухающими колебаниями, второй с плавным нарастанием и затуханием. Первый тип пиков характеризует кратковременные процессы, второй - более длительные, следовательно первый тип пиков описывает образование микротрещин, второй - формирование сдвига. Оба типа пиков описывают релаксационные процессы.

Для симиналов характерно явление акселерации пиков и на графике это выглядит как их обособленное скопление пиков, данный тип сигнала соответствует моменту выхода дислокаций из кристалла на его границу.

На полученных кривых (рис. 1) можно четко выделить зоны акселерационного скопления пиков, которые соответствуют определенному этапу в процессе деформирования. Поскольку интенсивность пиков возрастает можно судить о механизме деформирования как о последовательном. Характер и распределение пиков у симиналов различного типа имеет характерные отличия.

Для износостойких симиналов характерно возникновение акустической активности через некоторое время после начала испытания, что свидетельствует об общем упругом состояние структуры. Затем возникают не четкие пики активности, не слишком пологие и не слишком острые, скорее всего это спаренный сигнал, свидетельствующий, об одновременном разрыхлении аморфной составляющей и начале перемещения дислокаций в кристаллических фазах. Вероятно, что движение на данном этапе происходит внутри отдельных фаз и характеризуется как процесс двойникования (рис. 3).

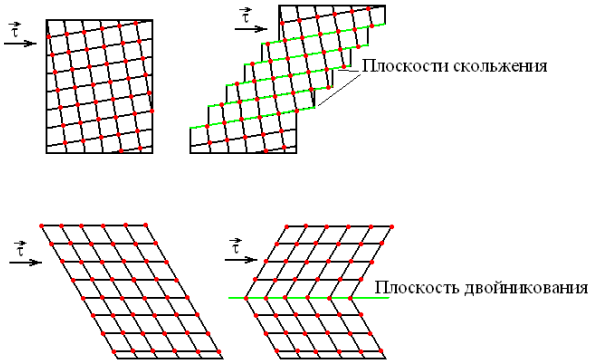


Рис. 3. Схема процесса двойникования и скольжения (сдвига)

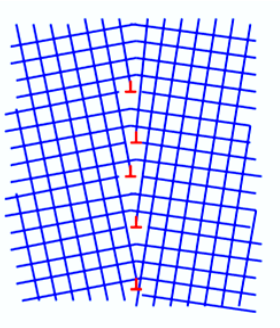


Рис. 4. Концентрация дислокаций на периферии двух сросшихся кристаллов пироксенов

Получается, что часть структуры разрыхляется, а часть упрочняется, а значит частично одно явление компенсирует другое. Затем происходит акселерационный скачок свидетельствующий о том, что дислокационное движение вышло за границы отдельного кристалла и началась их консолидация на периферии составляющих происходит сдвиг. А граница сдвига формирует плоскость скольжения (рис. 3), очевидно, что этот процесс сопровождается уже накоплением внутренних напряжений, а значит и возникновением релаксационных процессов. В частности, активнее всего процесс вероятно протекает в пироксенах на грациях срастания кристаллов (рис. 4).

Следующий акселерационный скачок связан с выходом дислокаций на периферию структурных составляющих, то есть в зону границы (аморфная составляющая - кристалл), так же этот сигнал может указывать и на образование новых дислокаций в этой части структуры, которые движутся в направление полос скольжения или сдвига, они так же концентрируются в межфазной границе. Здесь движение дислокации затормаживается и скорость роста напряжения уже в значительной степени превышает скорость релаксации, а значит возникают микротрещины. Следующий акселерационный скачок (рис. 1), свидетельствует о росте микротрещин, развитие их в магистральные. Разумеется процесс завершается разрушением образца.

Главным отличием в поведение образцов термостойких симиналов от износостойких является наличие акустической активности непосредственно в начале проведения испытаний. Характер пиков указывает на их соответствие сдвиговым процессам происходящим в структуре, а значит механизм деформации для термостойких симиналов начинается не с разрыхления аморфной фазы и не с двойникования, а сразу непосредственно с образования сдвига. Это может говорить о том, что в структуре термостойких симиналов, релаксируется напряжение, накопленное структурой еще в процессе кристаллизации. Длительный период относительного отсутствия активности говорит о длительном этапе упругого поведения структуры, что схоже с поведением износостойких симиналов. Далее наблюдается два последовательных акселерационных скачка. Первый скачек свидетельствует о движение дислокаций внутри составляющих, второй о выходе дислокаций на межфазное пространство. Дислокации движутся не хаотично, а в направление кристаллографических плоскостей или вдоль линий скольжения в кристалле, то есть перемещается не группа дислокаций, а каждая по отдельности, но в результате все они концентрируются на границе кристалла. На рис. 5 представлена схема движения каждой дислокации (A,B,C,D) из небольшого скопления на одной плоскости. Очевидно, что в термостойких симиналах релаксационные процессы протекают более полно, а это объясняет менее интенсивное растрескивание образцов.

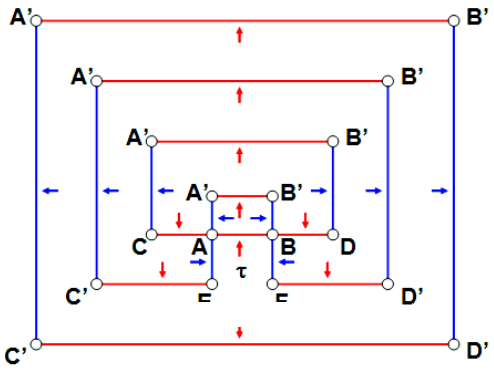


Рис. 5. Схема размножения дислокаций при деформирование и образцов термостойких симиналов

Решающую роль в характерных отличиях при поведение образцов в процессе деформирования играет химический состав симиналов, так отсутствие оксида хрома и оксида железа в термостойком симинале способствует формированию в структуре составляющих исключительно пироксенового типа, их прочностные характеристики отличаются от аналогичных показателей аморфной прослойки примерно на 50%, а в структуре износостойких симиналов присутствуют хромшпинелиды, прочностные показатели которых в 2-2,5 разы выше, чем у остальных составляющих [16]. Из-за того, что в износостойких симиналах градиент прочностных характеристик отдельных участков структуры более широкий чем, у термостойких, его поведение отличается большей склонностью к хрупкому разрушению, термостойкие же симиналы имеют более длительный период упругой деформации и в момент их разрушения наблюдается менее интенсивное растрескивание. Предложенные механизмы деформации указывают на то, что началом пластической деформации служат структурные изменения в наименее прочном составляющем, однако, их деформация не является началом разрушения, как правило, ему сопутствует начало деформирования наиболее прочных составляющих. Следовательно, для симиналов более важен показатели прочности самого «сильного» и самого «слабого» элемента структуры, а так же величина их разнице, чем общим прочностной показатель.

Таким образом, проведенное исследование позволило установить, что в процессе деформации в структуре синтетических минеральных сплавов происходит прерывистое течение, обусловленное двойникованием, формированием сдвига и последующим движением дислокаций уже вне границ кристаллов. Установлено, что механизм деформации термостойких и износостойких симиналов имеет характерные отличия, так в термостойких - релаксационные процессы протекают более полно и начальным этапом деформирования происходит формирование сдвига, а в износостойких симиналах, напротив вначале в системе происходит двойникование, одновременно с разрыхлением аморфной составляющей и только потом сдвиг, перемещение дислокаций в межфазную зону и разрушение. Выявлено, что в симиналах кристаллические составляющие деформируются пластически, а аморфные упруго и разрушаются резко, поэтому чем больше аморфной составляющей в структуре, тем более выражено хрупкое поведение образцов, как правило разрушение начинается с периферии. *Для симиналов можно выделить два показателя прочности – прочность самого слабого элемента и прочность самого сильного и регулировать прочностные характеристики симиналов их соотношением, а так же сокращением в разнице между уровнем прочности слабого и сильного элемента структуры.*

Список литературы

1. *Игнатова А.М., Чернов В.П., Ханов А.М.* Определении кристаллитности и аморфности в структуре горнблендитового каменного литья. – Тр. VI международной научной школы-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение». – Барнаул, 2009. – с. 175.
2. *Игнатова А.М., Артемов А.О., Игнатов М.Н.* Введение в номенклатуру металлургических огнеупоров термостойких симиналов. - Праці XVI міжнародної конференції «Теплотехніка та енергетика в металургії», НМетАУ, м. Дніпропетровськ, Україна, 4 – 6 жовт-ня 2011 р. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2011. – с. 90-92.
3. *Предводителев А.А., Рожанский В.Н., and Степанова В.М.* Дислокационная структура, возникающая в кристаллах NaCl при деформации их сосредоточенной нагрузкой // Кристаллография v.7, N 3 1962 p.418-424.
4. *Киттель Ч.* Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.- 345 с.
5. *Партон В.З.* Механика разрушения: От теории к практике. - М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1990. – 240 с.
6. *Игнатова А.М., Мерзляков А.Ф., Ханов А.М.* Методика и оборудование определение предела механической прочности на сжатие литых образцов синтетических минеральных сплавов.// «Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение» . - №3, т.12, 2010. – с. 123-129.
7. *Игнатова А.М., Потопов С.С., Гайдуков В.В., Ханов А.М.* Расчет параметров фазовых и структурных составляющих каменного литья - Материалы V-ой Всероссийской НТК «АНТЭ-09» . Казань: КГАУ, 2009. – с. 237-241.
8. *Владимиров В.И.* Физическая природа разрушения металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
9. *Предводителев А.А., Ракова Н.К., Нан Хун-бинь,* «Физика твердого тела», 1967, №9, - С.300.
10. *Мелехин Б.П., Минц Р.И., Куглер А.М.* Влияние механизмов пластической деформации цинка на акустическую эмиссию// Изв. вузов. Сер. Цветная металлургия. – 1971. – с. 235-241.
11. *Минц Р.И., Кортов В.С., Мелехин В.П.* Влияние механизма пластической деформации на акустическую и экзоэлектрическую эмиссию// Металлофизика. – Киев, 1973. – Вып. 4. – с. 23-34.
12. *Ширяев А.М., Головинский А.Г. и др.* О возможности количественной оценки информативности параметров акустической эмиссии. Дефектоскопия. 1989, №6, с.83-87.
13. *Андрейкив А.Е., Лысак Н.В.* Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. Отв. Ред. Панасюк В.В. АН УССР. Физ.-мех. Ин-т. – Киев: Наук. Думка, 1989. 176 с.
14. *Бойко В.С., Гарбер Р.И., Кившик В.Ф., Кривенко Л.Ф.* Синхронная регистрация перемещения дислокаций и генерируемого ими звукового излучения // Физ. твердого тела. 1975. - Т. 17. - Вып.5. - С. 1541-1543.
15. *Дробот Ю.Б., Корчевский В.В.* Влияние условий испытаний на параметры сигналов АЭ // Тезисы Всесоюзной конференции "Использование современных физических методов в неразрушающих исследованиях и контроле". Хабаровск, 1984. - с.251-252.
16. *А.М. Игнатова, А.П. Скачков* Метод наноиндентирования для идентификации структурных составляющих каменного литья. - Материалы II Всероссийской молодежной научной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования».- Екатеринбург – Миасс: УрО РАН, 2010. – с. 176-178.

01.04.02

А.В. Михайлов, В.Л. Шаблов д.ф.-м.н.

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал Национального исследовательского ядерного университета,
г. Обнинск, Shablov@iate.obninsk.ru

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БОРНОВСКИЕ РЯДЫ В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ЧАСТИЦ С КУЛОНОВСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Разработан метод выделения трехчастичных кулоновских сингулярностей в членах ряда теории возмущений для матричных элементов Т-оператора рассеяния в системе 3-х частиц с чисто кулоновским взаимодействием. Как следствие, получено разложение для амплитуды процесса развала в модифицированные борновские ряды, члены которых регулярны на энергетической поверхности.

Ключевые слова: *квантовая теория рассеяния, кулоновское взаимодействие, амплитуда перехода, борновские ряды.*

Как известно, для построения волновых функций и амплитуд рассеяния в системах квантовых частиц с короткодействующими парными потенциалами взаимодействия можно использовать теорию возмущений, базирующуюся на итерациях различных интегральных уравнений (обычно называемых интегральными уравнениями резольвентного типа), которым удовлетворяют волновые функции и Т-операторы рассеяния [1-5]. Если же между частицами действуют дальнодействующие кулоновские силы, использование резольвентных уравнений и их итераций приводит к известным трудностям, заключающимся в появлении у матричных элементов Т-операторов рассеяния и членов рядов теории возмущений для них специфических (так называемых кулоновских) сингулярностей при выходе энергии системы на энергетическую поверхность [3-7]. Несмотря на это обстоятельство, лидирующие члены рядов теории возмущений, обычно называемые первым борновским приближением (FBA), которые не содержат вышеупомянутых сингулярностей, часто используются при анализе конкретных процессов, особенно в физике атомных столкновений [8-9].

Способы устранения кулоновских сингулярностей рассматривались в [10-13]. В частности, в [10] разработан метод выделения кулоновских сингулярностей в разложении Дайсона для волновых операторов кулоновского рассеяния. В [11-13] осуществлено выделение кулоновских сингулярностей в решении уравнения Липпмана-Швингера для амплитуды перехода в канал развала на основе метода эффективных зарядов Петеркопа [14]. Настоящая работа посвящена выделению трехчастичной кулоновской сингулярности в итерациях уравнения Липпмана-Швингера для Т-оператора рассеяния, отвечающего переходу из произвольного бинарного канала в канал развала в системе трех частиц с чисто кулоновским взаимодействием. В работе используются обозначения, традиционные для теории рассеяния и принятые, например, в [5,15] и обзорах [7,16]. В частности, H обозначает гамильтониан трехчастичной системы (с отделённым движением центра масс), H_0 - свободный гамильтониан, а $G(Z) = (Z-H)^{-1}$ и $G_0(Z) = (Z-H_0)^{-1}$ - полную и свободную функцию Грина соответственно. Оператор H_0 в импульсном представлении будет записываться в виде

$$H_0(\bar{k}_\alpha, \bar{p}_\alpha) = \frac{k_\alpha^2}{2\mu_\alpha} + \frac{p_\alpha^2}{2n_\alpha}, \qquad (1)$$

где $(\bar{k}_\alpha, \bar{p}_\alpha)$ - набор координат Якоби, в котором $\bar{k}_\alpha$ обозначает относительный импульс в паре α (с приведенной массой μ_α), $\bar{p}_\alpha$ - импульс третьей частицы относительно центра масс этой пары, n_α - приведенная масса пары α и третьей частицы. Оператор взаимодействия системы V зададим в виде

$$V = \sum_{\alpha} V_{\alpha} = \sum_{\alpha} \frac{\lambda_{\alpha}}{r_{\alpha}}, \qquad (2)$$

где $\bar{r}_{\alpha}$ - относительная координата частиц в паре α.

В соответствии с результатами многоканальной теории кулоновского рассеяния амплитуда перехода из канала α в канал развала трехчастичной системы задается соотношением [1, 7, 11]

$$t_{0\alpha}\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}, \bar{p}_{\alpha}^{0}, E + i0\right) = \frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta + iA_0\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}\right)}}{\Gamma(1 - i\eta)}$$
$$\lim_{Z \to E + i0} (Z - E)^{-i\eta} \langle \bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma} | T(Z) | \Psi_{\alpha}, \bar{p}_{\alpha}^{0} \rangle \qquad (3)$$

В (3) $|\Psi_{\alpha}\rangle$ есть волновая функция связанного состояния в паре α, так что $|\Psi_{\alpha}, \bar{p}_{\alpha}^{0}\rangle$ - есть in-асимптота бинарного канала с канальным гамильтонианом $H_{\alpha} = H_0 + V_{\alpha}$

$$H_{\alpha} | \Psi_{\alpha}, \bar{p}_{\alpha}^{0} \rangle = E | \Psi_{\alpha}, \bar{p}_{\alpha}^{0} \rangle$$
$$E = \frac{p_{\alpha}^{02}}{2n_{\alpha}} - \kappa_{\alpha}^{2}, \qquad (4)$$

где $(-\kappa_{\alpha}^{2})$ - энергия связанного состояния в паре α. Далее, амплитуда $t_{0\alpha}$ в (3) вычисляется на поверхности энергии: $E = \frac{k_{\gamma}^{2}}{2\mu_{\gamma}} + \frac{p_{\gamma}^{2}}{2n_{\gamma}}$. Величина η есть кулоновский параметр выходного канала реакции

$$\eta = \eta\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}\right) = \sum_{\beta} \eta_{\beta} = \sum_{\beta} \frac{\lambda_{\beta}\mu_{\beta}}{k_{\beta}}, \qquad (5)$$

(η_{β} - кулоновский параметр пары β). Наконец, $A_0\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}\right)$ есть фаза Долларда выходного канала реакции $A_0\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}\right) = \sum_{\beta} \eta_{\beta} \ln \frac{2k_{\beta}^{2}}{\mu_{\beta}}$. Оператор $T(Z)$ в (3) может быть выбран в виде [7]

$$T(Z) = (V^{\alpha} - U_{\alpha})\omega_{\alpha}^{+} + VG(Z)(V^{\alpha} - U_{\alpha})\omega_{\alpha}^{+}, \qquad (6)$$

где $V^{\alpha} = V - V_{\alpha}$, U_{α} - искажающий кулоновский потенциал для канала α

$$U_{\alpha}(\bar{\rho}_{\alpha}) = \frac{1}{\rho_{\alpha}} \sum_{\beta \neq \alpha} \lambda_{\beta} \qquad (6)$$

($\bar{\rho}_{\alpha}$- координата, сопряженная импульсу $\bar{p}_{\alpha}$), а ω_{α}^{+} - оператор рассеяния для двухчастичного гамильтониана $h_{\alpha}^{c} = \frac{\hat{p}_{\alpha}^{2}}{2n_{\alpha}} + U_{\alpha}$. В дальнейшем для оператора $T(Z)$ будет использоваться интегральное уравнение Липпмана-Швингера вида

$$T(Z) = (V^{\alpha} - U_{\alpha})\omega_{\alpha}^{+} + VG(Z)T(Z), \qquad (7)$$

которое является следствием второго резольвентного тождества для полной функции Грина

$$G(Z) = G_0(Z) + G_0(Z)VG(Z)$$

Предельная процедура вычисления амплитуды перехода $t_{0\alpha}$ (3) показывает, что матричные элементы оператора рассеяния $\langle \bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma} | T(Z) | \Psi_{\alpha}, \bar{p}_{\alpha}^{0} \rangle$ вблизи поверхности энергии $Z \sim E$ $\left(E = \frac{p_{\alpha}^{02}}{2n_{\alpha}} - \kappa_{\alpha}^{2} = \frac{k_{\gamma}^{2}}{2\mu_{\gamma}} + \frac{p_{\gamma}^{2}}{2n_{\gamma}}\right)$ должна представляться в виде

$$\langle \bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma} | T(Z) | \Psi_{\alpha}, \bar{p}_{\alpha}^{0} \rangle = (Z - E)^{i\eta} M\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}, \bar{p}_{\alpha}^{0}, Z\right) + R\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}, \bar{p}_{\alpha}^{0}, Z\right), \qquad (8)$$

где функция $M\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}, \bar{p}_{\alpha}^{0}, Z\right)$ имеет конечный предел при выходе параметра Z на поверхность энергии, тогда как функция $R\left(\bar{k}_{\gamma}, \bar{p}_{\gamma}, \bar{p}_{\alpha}^{0}, Z\right)$ исчезает при $Z \to E + i0$. Множитель $(Z - E)^{i\eta} = \left(Z - \frac{k_{\gamma}^{2}}{2\mu_{\gamma}} - \frac{p_{\gamma}^{2}}{2n_{\gamma}}\right)^{i\eta}$ в (8) и есть трехчастичная кулоновская сингулярность, о которой говорилось ранее.

Для выделения кулоновской сингулярности в матричных элементах оператора $T(Z)$ воспользуемся формальным разложением этого оператора в борновский ряд

$$T(Z) = T_0 + \sum_{n=1}^{\infty} T_n(Z), \tag{9}$$

где

$$T_0 = (V^\alpha - U_\alpha)\omega_\alpha^+$$
$$T_n(Z) = \left(VG_0(Z)\right)^n T_0, \tag{9'}$$

так что матричные элементы $\langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | T(Z) | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle$ представляются в виде

$$\langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | T(Z) | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle = \langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle + \\ + \langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | T_n(Z) | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle. \tag{10}$$

Первое слагаемое в правой части разложения (10) есть амплитуда процесса в первом борновском приближении, которая, очевидно, является несингулярной функцией. При вычислении следующих членов борновского разложения возникают матричные элементы $\langle \bar{k}'_\gamma, \bar{p}'_\gamma | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle = \langle \bar{k}'_\alpha, \bar{p}'_\alpha | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle$ вне поверхности энергии, местоположение сингулярностей которых определяется условиями $\bar{p}'_\alpha = \bar{p}_\alpha^0$, либо $p'_\alpha = p_\alpha^0$. Для дальнейшего существенно, что эти сингулярности не пересекаются с особенностями свободной функции Грина $G_0(Z)$ при $Z \to E + i0$, т.е. лежат вне энергетической поверхности.

Для выделения сингулярностей в членах борновского ряда, которые порождаются пересечением особенностей кулоновских потенциалов и свободной функции Грина (при $Z \to E + i0$), а также особенностей предшествующих членов борновского ряда, воспользуемся свойствами эталонного интеграла

$$I_\gamma\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) = \langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma \left| V_\gamma G_0(Z) \right| f \rangle \tag{11}$$

с некоторой функцией $f\left(\bar{k}'_\gamma, \bar{p}'_\gamma\right)$, которая предполагается гладкой в окрестности энергетической поверхности. Представим I_γ в виде

$$I_\gamma\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) = A_\gamma(\xi)\, f\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) + R_\gamma\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right), \tag{12}$$

где

$$R_\gamma\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) = \frac{\lambda_\gamma}{2\pi^2} \int d\bar{k}'_\gamma \frac{1}{\left|\bar{k}_\gamma - \bar{k}'_\gamma\right|^2} \times \\ \times \frac{1}{Z - \frac{p_\gamma^2}{2n_\gamma} - \frac{k_\gamma'^2}{2\mu_\gamma}} \left(f\left(\bar{k}'_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) - f\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) \right) \tag{13}$$

представляет регулярную часть интеграла I_γ. В свою очередь функция $A\left(\xi_\gamma\right)$ равна

$$A\left(\xi_\gamma\right) = \frac{\lambda_\gamma}{2\pi^2} \int d\bar{k}'_\gamma \frac{1}{\left|\bar{k}_\gamma - \bar{k}'_\gamma\right|^2} \frac{1}{Z - \frac{p_\gamma^2}{2n_\gamma} - \frac{k_\gamma'^2}{2\mu_\gamma}} \\ = \frac{\lambda_\gamma \mu_\gamma}{\pi^2 k_\gamma} \int d\bar{x} \frac{1}{|\bar{n} - \bar{x}|^2} \frac{1}{\xi_\gamma - x^2} \tag{14}$$

В (14) $\bar{n} = \frac{\bar{k}_\gamma}{k_\gamma}$, $\bar{k}'_\gamma = k_\gamma \bar{x}$, а параметр ξ_γ задается соотношением

$$\xi_\gamma = \frac{K_\gamma^2}{k_\gamma^2}\ , K_\gamma^2 = 2\mu_\gamma \left(Z - \frac{p_\gamma^2}{2n_\gamma} \right) \tag{15}$$

Вместо функции $A_\gamma\left(\xi_\gamma\right)$ рассмотрим более общую функцию $A_\gamma^n\left(\xi_\gamma\right)$ вида

$$A_\gamma^n\left(\xi_\gamma\right) = \frac{\eta_\gamma}{\pi^2} \int d\bar{x} \frac{1}{|\bar{n} - \bar{x}|^2} \frac{\ln^n(\xi_\gamma - x^2)}{\xi_\gamma - x^2}, \tag{16}$$
$$(n = 0, 1, 2 \ldots)$$

где $\eta_\gamma = \frac{\lambda_\gamma \mu_\gamma}{\kappa_\gamma}$ - кулоновский параметр пары γ. Введя новую переменную $\bar{x}' = \bar{n} - \bar{x}$, проинтегрируем по направлению вектора $\bar{x}'$. В итоге

$$A_\gamma^n(\xi_\gamma) = \frac{\eta_\gamma}{(n+1)\pi} \times$$
$$\times \int_0^\infty dx \frac{\ln^{n+1}(\xi_\gamma - 1 + 2x - x^2) - \ln^{n+1}(\xi_\gamma - 1 - 2x - x^2)}{x} \quad (17)$$

Тогда

$$A_\gamma^n(\xi_\gamma) = \frac{\eta_\gamma}{(n+1)\pi}\left(\frac{d^{n+1} I_\alpha(\xi_\gamma)}{d\alpha^{n+1}}\right), \quad (18)$$

где функция $I_\alpha(\xi_\gamma)$ задана следующим образом:

$$I_\alpha(\xi_\gamma) = \int_0^\infty dx \frac{(\xi_\gamma - 1 + 2x - x^2)^\alpha - (\xi_\gamma - 1 - 2x - x^2)^\alpha}{x} \quad (19)$$

Функция $I_\alpha(\xi_\gamma)$ вычислена в Приложении, где для нее получено выражение вида

$$I_\alpha(\xi_\gamma) = i\pi(\xi_\gamma - 1)^\alpha - i\pi\, \Gamma\begin{bmatrix} \frac{1}{2} - \alpha \\ \frac{1}{2}, 1 - \alpha \end{bmatrix} \xi_\gamma^{\frac{1}{2}+\alpha} \times$$
$$\times\ {}_2F_1\left(1, \frac{1}{2}; 1 - \alpha; 1 - \xi_\gamma\right) \quad (20)$$

Из (20) и (18) вытекает, что функция $A_\gamma^n(\xi_\gamma)$ равна

$$A_\gamma^n(\xi_\gamma) = \frac{i\eta_\gamma}{n+1} ln^{n+1}(\xi_\gamma - 1) + r_\gamma^{(n+1)}(\xi_\gamma), \quad (21)$$

причем функция $r_\gamma^{(n+1)}(\xi_\gamma)$ несингулярна вблизи поверхности энергии, где $\xi_\gamma \sim 1$.

Полагая в (11) $f(\bar{k}'_\gamma, \bar{p}'_\gamma) = \langle \bar{k}'_\gamma, \bar{p}'_\gamma | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle$ и используя (21), получим, что вклад второго борновского приближения в разложение (10) описывается выражением

$$\langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | V G_0(Z) T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle = \sum_\beta i\eta_\beta \ln(\xi_\beta - 1) + \sum_\beta r_\beta^{(1)}(\xi_\beta) =$$
$$= \sum_\beta i\eta_\beta \ln \frac{Z - E(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma)}{E_\beta} + \sum_\beta r_\beta^{(1)}(\xi_\beta) \quad (22)$$
$$(\beta = 12,13,23)$$

В (22) $E_\beta = \frac{k_\beta^2}{2\mu_\beta}$, а $E(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma)$ - кинетическая энергия системы, отвечающая состоянию $|\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\rangle$.

Использование процедуры перехода от интеграла $I_\gamma(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma)$ (11) к функции $A(\xi_\gamma)$ (14) и затем к функции $A_\gamma^n(\xi_\gamma)$ (16) показывает, что в матричных элементах третьего борновского приближения появятся слагаемые, содержащие $ln^2(Z - E)$ и $\ln(Z - E)$. Действуя по индукции, можно показать, что вклад борновского приближения n-го порядка в разложение (10) имеет вид

$$\langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | T_n(Z) | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle = \sum_\beta \frac{(i\eta)^{n-1}}{n!} i\eta_\beta ln^n(\xi_\beta - 1) T_0(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma) +$$
$$+ \sum_\beta \sum_{k=1}^{n-1} \frac{(i\eta)^{k-1}}{k!} i\eta_\beta ln^k(\xi_\beta - 1) R_{n-k}(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma) + R_n(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma), \quad (23)$$

причем функции типа R регулярны в окрестности энергетической поверхности. Для доказательства справедливости представления (23) рассмотрим, например, во что превращается первое слагаемое в (23) под действием оператора $VG_0(Z)$. Соответствующее выражение имеет вид:

$$T_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,Z)=\frac{1}{n!}\sum_\rho\frac{\lambda_\rho}{2\pi^2}\sum_\beta\int d\bar{k}'_\rho\frac{1}{|\bar{k}_\rho-\bar{k}'_\rho|^2}\frac{1}{Z-\frac{k'^2_\rho}{2\mu_\rho}-\frac{p_\rho^2}{2n_\rho}}\times$$
$$\times\ ln^n\frac{Z-E(\bar{k}'_\rho,\bar{p}_\rho)}{E_\beta(\bar{k}'_\rho,\bar{p}_\rho)}F(\bar{k}'_\rho,\bar{p}_\rho),\qquad(24)$$

где

$$F(\bar{k}'_\rho,\bar{p}_\rho)=i\eta_\beta\,(\bar{k}'_\rho,\bar{p}_\rho)\left(i\eta(\bar{k}'_\rho,\bar{p}_\rho)\right)^n\langle\bar{k}'_\rho,\bar{p}'_\rho|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle\qquad(25)$$

Преобразуем выражение для $T_{n+1}^{(1)}$, используя, как и ранее, метод вычитания сингулярности: функцию $F(\bar{k}'_\rho,\bar{p}'_\rho)$ представим в виде суммы $F(\bar{k}_\rho,\bar{p}_\rho)+\Delta F$, а энергию $E_\beta(\bar{k}'_\rho,\bar{p}'_\rho)$ заменим на $E_\beta(\bar{k}_\rho,\bar{p}_\rho)$. В результате получим

$$T_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,Z)=\frac{1}{n!}\sum_\rho\frac{\lambda_\rho}{2\pi^2}\sum_\beta\int d\bar{x}\frac{1}{|\bar{n}_\rho-\bar{x}|^2}\frac{1}{\xi_\rho-x^2}\times$$
$$\times\ ln^n\left(\frac{E_\rho}{E_\beta}(\xi_\rho-x^2)\right)F(\bar{k}_\rho,\bar{p}_\rho)+R_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma),\qquad(26)$$

причем вектор $\bar{n}_\rho$ и параметр ξ_ρ определены так же, как и в формулах (14) и (15) (с заменой индекса γ на ρ). Раскладывая теперь $ln^n(\cdot)$

$$ln^n\left(\frac{E_\rho}{E_\beta}(\xi_\rho-1)\right)=\sum_{j=0}^{n}\frac{n!}{(n-j)j!}ln^{n-j}(\xi_\rho-1)ln^j\frac{E_\rho}{E_\beta}$$

и используя (22), получим

$$T_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,Z)=\frac{1}{n!}\sum_\rho i\eta_\rho\sum_\beta i\eta_\beta(i\eta)^n\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle\times$$
$$\times\sum_{j=0}^{n}\frac{n!}{j!\,(n-j+1)!}ln^{n-j+1}(\xi_\rho-1)ln^j\frac{E_\rho}{E_\beta}+R_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)\qquad(27)$$

Суммирование по j дает

$$\sum_{j=0}^{n}(\dots)=\frac{1}{(n+1)}\sum_{j=0}^{n+1}\frac{(n+1)!}{j!\,(n+1-j)!}ln^{n+1-j}(\xi_\rho-1)ln^j\frac{E_\rho}{E_\beta}-$$
$$-\frac{1}{n+1}ln^{n+1}\frac{E_\rho}{E_\beta}=\frac{1}{n+1}ln^{n+1}(\xi_\beta-1)-\frac{1}{n+1}ln^{n+1}\frac{E_\rho}{E_\beta}\qquad(28)$$

Таким образом, функция $T_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,Z)$ равна

$$T_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,Z)=\sum_\beta i\eta_\beta\frac{(i\eta)^n}{(n+1)!}ln^{n+1}(\xi_\rho-1)\times$$
$$\times\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle+\tilde{R}_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma),\qquad(29)$$

где функция

$$\tilde{R}_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)=R_{n+1}^{(1)}(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)-$$
$$-\sum_\rho i\eta_\rho\sum_\beta i\eta_\beta\frac{(i\eta)^{n-1}}{(n+1)!}ln^{n+1}\frac{E_\rho}{E_\beta}\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle$$

не имеет сингулярностей вблизи энергетической поверхности. Суммируя выражения типа (23), находим формальное решение уравнения Липпмана-Швингера (7)

$$\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T(Z)|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle=\sum_\beta\frac{\eta_\beta}{\eta}e^{i\eta\ln(\xi_\beta-1)}\left(\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle+\right.$$
$$\left.+R_1(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)+R_2(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)+\cdots\right)\qquad(30)$$

Следовательно, амплитуда процесса развала, определенная с помощью предельной процедуры (3), равна

$$t_{0\alpha}\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,E+i0\right)=\frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1-i\eta)}\left(\sum_\beta\frac{\eta_\beta}{\eta}e^{iA_0-i\eta\ln E_\beta}\right)\times$$
$$\times\left(\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle+\sum_{n=1}^{\infty}R_n\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)\right) \qquad (31)$$

При выводе соотношений (24)-(31) предполагалось, что кулоновский параметр конечного состояния реакции отличен от 0. Если же $\eta=0$, члены борновского ряда (10) не содержат никаких сингулярностей вблизи энергетической поверхности, как и формальная сумма этого ряда, что легко проверяется непосредственно предельным переходом в (31).

Представление (31) есть разложение амплитуды перехода из заданного бинарного канала реакции в канал развала в модифицированный борновский ряд, члены которого в отличие от членов исходного борновского ряда (10) регулярны вблизи энергетической поверхности. Как следует из процедуры вывода этого представления, каждое регулярное вблизи энергетической поверхности слагаемое, которое дает вклад в амплитуду n-го борновского приближения (10), порождает свой вклад в амплитуду перехода по аналогии с амплитудой первого борновского приближения. Лидирующий член этого разложения представляет собой амплитуду модифицированного (плосковолнового) борновского приближения

$$t^{(1)}\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,E+i0\right)=\frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1-i\eta)}\left(\sum_\beta\frac{\eta_\beta}{\eta}e^{iA_0\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)-i\eta\ln E_\beta}\right)\times$$
$$\times\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle \qquad (32)$$

Следует заметить, что вклад $\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle$ с точностью до множителей, зависящих от кулоновского параметра системы η, присутствует во всех $R_n\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)$. Например, в случае $n=1$ этот вклад описывается выражением вида

$$-i\sum_\beta\eta_\beta\frac{d}{d\alpha}\Gamma\begin{bmatrix}\frac{1}{2}-\alpha\\ \frac{1}{2},1-\alpha\end{bmatrix}\xi_\beta^{\frac{1}{2}+\alpha}\ {}_2\mathrm{F}_1\left(1,\frac{1}{2};1-\alpha;1-\xi_\beta\right)_{\alpha=0,\xi_\beta=1}\times$$
$$\times\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle=-2i\eta\ln 2\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle \qquad (33)$$

Из (33) вытекает, что вклад второго борновского приближения в разложении (10), для которого была получена формула (21), можно представить следующим образом:

$$\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|VG_0(Z)T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle=\sum_\beta i\eta_\beta\ln\frac{\xi_\beta-1}{4}\times$$
$$\times\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle+\tilde{R}_1\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right), \qquad (34)$$

причем функция $\tilde{R}_1\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)$ исчезнет вблизи энергетической поверхности. Заметим теперь, что вместо интеграла (16) можно рассмотреть более общий интеграл

$$\frac{\eta_\beta}{\pi^2}\int d\bar{x}\frac{1}{\left|\bar{n}_\gamma-\bar{x}\right|^2}\frac{ln^n\left(C\left(\xi_\gamma-x^2\right)\right)}{\xi_\gamma-x^2} \qquad (35)$$

с произвольной постоянной $C>0$. Тогда вместо функции $I_\alpha\left(\xi_\gamma\right)$ (19) возникает функция $C^\alpha I_\alpha\left(\xi_\gamma\right)$. Формула (34) показывает, что постоянную C следует выбрать равной $\frac{1}{4}$, так что вместо (24) возникает выражение вида

$$\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle+$$
$$+\sum_\beta\sum_{k=1}^{n-1}\frac{(i\eta)^{k-1}}{k!}i\eta_\beta\ln^{\mathrm{k}}\left(\frac{\xi_\beta-1}{4}\right)\tilde{R}_{n-k}\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)+\tilde{R}_n\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right). \qquad (36)$$

Для доказательства справедливости выражения (36) достаточно в формулах (27)-(28) энергию E_β заменить на $4E_\beta$. Как следствие, вместо представления (31) для амплитуды перехода получается выражение

$$t_{0\alpha}\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma, \bar{p}_\alpha^0, E+i0\right) = \frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1-i\eta)}\left(\sum_\beta \frac{\eta_\beta}{\eta} e^{iA_0\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right) - i\eta \ln 4E_\beta}\right) \times$$

$$\times \left(\langle \bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle + \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{R}_n\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right)\right), \qquad (37)$$

в котором учтен вклад выражения (33) в функции $R_n\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right)$.

Разложение (37) и есть искомый модифицированный борновский ряд для амплитуды процесса развала, члены которого регулярны на энергетической поверхности. Дальнейшее преобразование (37) связано с возможностью частичного суммирования ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \tilde{R}_n\left(\bar{k}_\gamma, \bar{p}_\gamma\right)$, что будет сделано в отдельной работе.

Приложение.

Вычислим интеграл (19), задающий функцию $I_\alpha(\xi_\gamma)$. С этой целью воспользуемся свойствами гипергеометрической функции Гаусса [18]:

$$\int_0^\infty dx \frac{x^{\alpha-1}}{(x+y)^\rho (x+z)^\lambda} = z^{-\lambda} y^{\alpha-\rho} B(\alpha, \rho+\lambda-\alpha) \times$$

$$\times\ {}_2F_1\left(\alpha, \lambda; \rho+\lambda; 1-\frac{y}{z}\right) \qquad (\text{П } 1)$$

$$(|\arg y| < \pi, |\arg z| < \pi, 0 < Re\,\alpha < Re(\rho+\lambda))$$

и

$${}_2F_1(1, b; 2; z) = \frac{1}{(b-1)z}\left[(1-z)^{1-b} - 1\right] \qquad (b \neq -1) \qquad (\text{П } 2)$$

Из приведенных соотношений вытекает, что

$$y^\alpha - z^\alpha = \frac{1}{B(1+\alpha, -\alpha)} \int_0^\infty dt\, t^\alpha \left(\frac{1}{y+t} - \frac{1}{z+t}\right) \qquad (\text{П } 3)$$

$$(-1 < \alpha < 1, |\arg y| < \pi, |\arg z| < \pi)$$

Формула (П 3) позволяет представить функцию $I_\alpha(\xi_\gamma)$ в виде

$$I_\alpha\left(\xi_\gamma\right) = \frac{1}{B(1+\alpha, -\alpha)} \int_0^\infty dt\, t^\alpha \int_0^\infty dx \left(\frac{1}{\xi_\gamma - 1 + 2x - x^2}\right) \times$$

$$\times \left(-\frac{1}{\xi_\gamma - 1 - 2x - x^2}\right)\frac{1}{x} \qquad (\text{П } 4)$$

В итоге

$$I_\alpha\left(\xi_\gamma\right) = -\frac{4}{B(1+\alpha, -\alpha)} \int_0^\infty dt\, t^\alpha \int_0^\infty dx \left(\frac{1}{(x^2-4)^2 - 4x^2}\right) \qquad (\text{П } 5)$$

где параметр u равен $\xi_\gamma - 1 + t$. Интеграл по x можно вычислить, пользуясь табличным интегралом [19]

$$\int_0^\infty dx \frac{x^{\eta-1}}{(x^2+\beta)(x^2+\gamma)} = \frac{\pi}{2} \frac{\gamma^{\frac{\eta}{2}-1} - \beta^{\frac{\eta}{2}-1}}{\beta - \eta} \operatorname{cosec} \frac{\eta\pi}{2} \qquad (\text{П } 6)$$

$$(|\arg \beta| < \pi, |\arg \gamma| < \pi)$$

Как следствие, функция $I_\alpha\left(\xi_\gamma\right)$ оказывается равной

$$I_\alpha(\xi_\gamma) = -\frac{2\pi}{B(1+\alpha,-\alpha)}\int_0^\infty dt\frac{t^\alpha}{\beta^{\frac{1}{2}}\gamma^{\frac{1}{2}}\left(\beta^{\frac{1}{2}}+\gamma^{\frac{1}{2}}\right)} \qquad (\text{П } 7)$$

с параметрами β и γ, определенными соотношениями

$$\beta\gamma = u^2, \quad \beta+\gamma = -4-2u$$
$$|\arg\beta| < \pi, |\arg\gamma| < \pi \qquad (\text{П } 8)$$

Из (П 8) вытекает, что

$$\beta = -(2+u) + ((2+u)^2 - u^2)^{\frac{1}{2}}$$
$$\gamma = -(2+u) - ((2+u)^2 - u^2)^{\frac{1}{2}} \qquad (\text{П } 9)$$

и с учетом ограничений на аргумент параметров β и γ

$$\beta^{\frac{1}{2}} = -i(1+u)^{\frac{1}{2}} + i$$
$$\gamma^{\frac{1}{2}} = -i(1+u)^{\frac{1}{2}} - i \qquad (\text{П } 10)$$

При выводе формул (П 10) было учтено, что в силу определения параметров ξ_γ и u $\operatorname{Im} u > 0$. Следовательно,

$$\beta^{\frac{1}{2}} + \gamma^{\frac{1}{2}} = -i\left(\xi_\gamma + t\right)^{\frac{1}{2}}$$
$$\beta^{\frac{1}{2}}\gamma^{\frac{1}{2}} = -\left(\xi_\gamma - 1 + t\right), \qquad (\text{П } 11)$$

и функция $I_\alpha(\xi_\gamma)$ равна

$$I_\alpha(\xi_\gamma) = \frac{i\pi}{B(1+\alpha,-\alpha)}\int_0^\infty dt\frac{t^\alpha}{\left(\xi_\gamma - 1 + t\right)\left(\xi_\gamma + t\right)^{\frac{1}{2}}} \qquad (\text{П } 12)$$

или

$$I_\alpha(\xi_\gamma) = i\pi\Gamma\begin{bmatrix}\frac{1}{2}-\alpha \\ \frac{3}{2},-\alpha\end{bmatrix}\xi_\gamma^{-\frac{1}{2}}\left(\xi_\gamma - 1\right)^\alpha\ {}_2F_1\left(\frac{1}{2},1+\alpha;\frac{3}{2};\frac{1}{\xi_\gamma}\right) \qquad (\text{П } 13)$$

Список литературы

1. *Меркурьев С.П., Фаддеев Л.Д.* Квантовая теория рассеяния для систем нескольких частиц. - М., Наука, 1985.
2. *Рид М., Саймон Б.* Методы современной математической физики. Т.4. Анализ операторов. - М., Мир, 1982.
3. *Hunziker W.* Mathematical Theory of Multiparticle System. Lectures in Theoretical Physics. v.X / Ed. by A. Barut, W. Britten. New Eork, Gordon and Breach, 1968.
4. *Шмид Э., Цигельман Х.* Проблема трех тел в квантовой механике. -М., Наука, 1979.
5. *Комаров В.В., Попова А.М., Шаблов В.Л.* Динамика систем нескольких квантовых частиц. - М., изд-во Московского ун-та, 1996.
6. *Chandler C.* // Nucl. Phys. A.- 1981. -V. 353.-n.1,2.- p. 129-142.
7. *Шаблов В.Л., Виницкий П.С., Попов Ю.В., О. Чулуунбаатар, Кузаков К.А.* // ЭЧАЯ.- 2010.- т.41.- Вып.2.- с. 607-650.
8. *Друкарев Г.Ф.* Столкновения электронов с атомами и молекулами. - М., Наука, 1978.
9. *Неудачин В.Г., Попов Ю.В., Смирнов Ю.Ф.* // УФН.- 1999. -Т. 169.- с. 1111-1162.
10. *Zorbas J.* // Int. Jour. Theor. Phys. -1981.- v.20.-n.12.- p.921-955.
11. *Shablov V.L., Bilyk V.A., Popov Yu.V.* // J. Phys. IV. France. -1999. -v.9. p. Pr 6-59-Pr 6-63.
12. *Шаблов В.Л., Билык В.А., Попов Ю.В.* // Фунд. и прикл. математика.- 1998.- т.4.- с. 1201-1227.
13. *Shablov V.L., Bilyk V.A., Popov Yu.V.* // In: Many-Particle Spectroscopy of Atoms, Molecules, Clusters and Surface. eds J. Berakdar and J. Kircher. London: Kluwer Acad. Publ.-2001.- p. 71-82.
14. *Петеркоп Р.К.* Теория ионизации атомов электронным ударом. - Рига, Зинатне, 1975.
15. *Тейлор Дж.* Теория рассеяния. - М., Мир, 1975.
16. *Попов Ю.В. Чулуунбаатар О., Шаблов В.Л., Кузаков К.А.* // ЭЧАЯ.- 2010.- т. 41.- Вып. 4.- с. 1019-1074.
17. *Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И.* Интегралы и ряды. - М., Наука, 1981.
18. *Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И.* Интегралы и ряды. Дополнительные главы. - М., Наука, 1986.
19. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. - М., Наука, 1971.

01.02.05

М.С. Моисеенков, С.В. Русаков д.ф.-м.н.

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
кафедра прикладной математики и информатики,
Пермь, moiseenkov.ms@gmail.com

РАЗНОСТНАЯ СПЛАЙН-СХЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ДИФФУЗИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕАГИРУЮЩЕЙ СМЕСИ

В статье предложена новая сплайн-схема для моделирования физико-химических процессов, происходящих в замкнутых объёмах в случае, когда можно пренебречь конвективной составляющей и ограничиться только учетом диффузии. Выполненные для обобщенной задачи тестовые расчеты показали хорошую работоспособность предлагаемой разностной сплайн-схемы.

Ключевые слова: *многокомпонентная реагирующая смесь, диффузия, разностная сплайн-схема.*

В ряде случаев, при моделировании физико-химических процессов, происходящих в замкнутых объемах, можно пренебречь конвективной составляющей и ограничиться только учетом диффузии. В частности такая, ситуация имеет место, когда рассматривается процесс полимеризации смеси, пропитывающей некоторый материал [1]. В качестве примера рассмотрим такую модель в одномерном случае, где, не нарушая общности, пространственная координата меняется от 0 до 1:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D\left(\vec{n}\right)\frac{\partial n_i}{\partial x}\right) - A_i\left(\vec{n}\right)n_i + B_i\left(\vec{n}\right), \quad x \in (0,1), \quad t > 0, \quad i = \overline{1,m} \tag{1}$$

где n_i – концентрация i-ой компоненты смеси,

$$A_i\left(\vec{n}\right) \geq 0, \quad B_i\left(\vec{n}\right) \geq 0, \quad i = \overline{1,m}$$

$$\vec{n} = \left(n_1,...,n_m\right)^T, \quad \sum_{i=1}^{m} n_i \leq 1$$

Система уравнений (1) замыкается граничными и начальными условиями

$$\frac{\partial n_i(t,0)}{\partial x} = \alpha_i^{(0)}\left(n_i(t,0) - n_i^{(0)}\right), \quad \frac{\partial n_i(t,1)}{\partial x} = -\alpha_i^{(1)}\left(n_i(t,1) - n_i^{(1)}\right),$$
$$\alpha_i^{(0)}, \alpha_i^{(1)} \geq 0, \quad n_i(0,x) = \varphi_i(x), \quad i = \overline{1,m} \tag{2}$$

В тех случаях, когда исследуемая система замкнута (отсутствует приток-отток извне и нет внутренних источников) и компоненты смеси распределены в пространстве равномерно, кинетические члены системы уравнений (1) удовлетворяют балансовому соотношению:

$$\sum_{i=1}^{m} A_i\left(\vec{n}\right)n_i = \sum_{i=1}^{m} B_i\left(\vec{n}\right) \tag{3}$$

В рассматриваемой системе есть, по крайней мере, два характерных времени: кинетическое и диффузионное. Кроме того, скорость протекания химических реакций, как и скорость диффузии, для разных компонент смеси может существенно (на порядки) отличаться. При этом известно [2], что устойчивость явных разностных схем для модельного уравнения переноса $\frac{\partial u}{\partial t} = -Au$ обеспечивается условием, связывающим шаг по времени и

по пространству $\Delta t < \frac{h}{A}$. А для модельного уравнения диффузии $\frac{\partial u}{\partial t} = D\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ условием $\Delta t < \frac{h^2}{2D}$. Для системы уравнений придется использовать самый жесткий из этих двух критериев. Все может привести к необходимости использовать очень маленький шаг по времени, что приведет существенному увеличению времени расчетов. Кроме того, интенсивный отток вещества через границу (условия (2)) может привести к существенным пространственным градиентам искомых функций, что накладывает повышенных требования к разностной сетке по пространственной переменной, которую необходимо сгущать к границе. Таким образом, к численному методу решения задачи (1) – (3) предъявляются повышенные требования по устойчивости и прядку аппроксимации.

Рассмотрим разностную схему, удовлетворяющую сформулированным выше требованиям. Для пространственной аппроксимации решения задачи (1) – (3) воспользуемся параболическими сплайнами дефекта 1, приближающими в среднем, который можно представить в виде [3]:

$$\tilde{S}_{2,1}(x;u) = \tilde{u}_{j+1/2} - \frac{h_j}{6}\left(\left(2-6\tau+3\tau^2\right)Q_j + \left(1-3\tau^2\right)Q_{j+1}\right), \quad x \in \left[x_j, x_{j+1}\right], \quad j = \overline{0, N-1} \qquad (4)$$

где

$$0 = x_0 < x_1 < \ldots < x_N = 1, \quad h_j = x_{j+1} - x_j, \quad \tau = \left(x - x_j\right)/h_j, \quad j = \overline{0, N-1}$$

$$\tilde{u}_{j+1/2} = \frac{1}{h_j}\int_{x_i}^{x_{j+1}} u(x)dx, \quad j = \overline{0, N-1},$$

$$Q_j = \tilde{S}'_{2,1}\left(x_j - 0; u\right) = \tilde{S}'_{2,1}\left(x_j + 0; u\right), \quad j = \overline{1, N-1}$$

Как следствие условий гладкого сопряжения, первые производные сплайна в узлах разностной сетки связаны системой линейных алгебраических уравнений:

$$\mu_j Q_{j-1} + 2Q_j + \lambda_j Q_{j+1} = 3\frac{\tilde{u}_{j+1/2} - \tilde{u}_{j-1/2}}{\bar{h}_j}, \quad j = \overline{1, N-1}, \qquad (5)$$

где

$$\mu_j = \frac{h_{j-1}}{h_{j-1} + h_j}, \quad \lambda_j = 1 - \mu_j = \frac{h_j}{h_{j-1} + h_j}, \quad \bar{h}_j = \frac{1}{2}\left(h_{j-1} + h_j\right)$$

В граничных точках используются условия замыкания:

$$Q_0 = \alpha_0\left(u_0 - u_0^{(0)}\right), \quad Q_N = -\alpha_N\left(u_N - u_N^{(0)}\right)$$

Откуда из аппроксимации (4) можно получить два уравнения:

$$\left(1 + \alpha_0\frac{h_0}{3}\right)Q_0 + \alpha_0\frac{h_0}{3}Q_1 = \alpha_0\left(\tilde{u}_{1/2} - u_0^{(0)}\right),$$

$$\alpha_N\frac{h_{N-1}}{3}Q_{N-1} + \left(1 + \alpha_N\frac{h_{N-1}}{3}\right)Q_N = -\alpha_N\left(\tilde{u}_{N-1/2} - u_N^{(0)}\right) \qquad (5)$$

Легко убедиться, что система линейных уравнений (4) – (5) имеет матрицу со строгим диагональным преобладанием и может быть решена экономичным алгоритмом скалярной прогонки [2]. Методику построения разносной схемы рассмотрим на примере модельной задачи

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D(u)\frac{\partial u}{\partial x}\right) - A(u)u + B(u), \quad x \in (0,1), \quad t \geq 0,$$

$$\frac{\partial u(t,0)}{\partial x} = \alpha_0\left(u(t,0) - U_0\right), \quad \frac{\partial u(t,1)}{\partial x} = -\alpha_1\left(u(t,1) - U_1\right), \qquad (6)$$

$$u(0,x) = \varphi(x)$$

Будем строить аппроксимации на неравномерной пространственно-временной сетке, воспользовавшись методом контрольного объема, в качестве которого выберем пространственную ячейку $x \in [x_j, x_{j+1}]$, аппроксимируя производную по времени разностью вперед:

$$\frac{\tilde{u}_{j+1/2}^{(k+1)} - \tilde{u}_{j+1/2}^{(k)}}{\Delta t} = \frac{1}{h_j}\left(D\left(u_{j+1}^{(k)}\right)Q_{j+1}^{(k+1)} - D\left(u_j^{(k)}\right)Q_j^{(k+1)}\right) - A_{j+1/2}^{(k)}\tilde{u}_{j+1/2}^{(k+1)} + B_{j+1/2}^{(k)} \qquad (7)$$

Из уравнения (7) выразим значение искомой функции на следующем шаге по времени:

$$\tilde{u}_{j+1/2}^{(k+1)} = f_{j+1/2}^{(k)} + a_{j+1/2}^{(k)}\left(D\left(u_{j+1}^{(k)}\right)Q_{j+1}^{(k+1)} - D\left(u_j^{(k)}\right)Q_j^{(k+1)}\right) \qquad (8)$$

где

$$f_{j+1/2}^{(k)} = \left(\tilde{u}_{j+1/2}^{(k)} + \Delta t \cdot B_{j+1/2}^{(k)}\right)\left(1 + \Delta t \cdot A_{j+1/2}^{(k)}\right)^{-1},$$

$$a_{j+1/2}^{(k)} = \frac{\Delta t}{h_j}\left(1 + \Delta t \cdot A_{j+1/2}^{(k)}\right)^{-1}$$

Для определения неизвестных величин $Q_j^{(k+1)}$ воспользуемся системой уравнений (4) – (5), в правую часть которой подставим выражения (8):

$$\begin{gathered}-\left(3\frac{a_{j-1/2}^{(k)}}{\overline{h_j}}D\left(u_{j-1}^{(k)}\right) - \mu_j\right)Q_{j-1}^{(k+1)} + \left(2 + 3\frac{a_{j-1/2}^{(k)} + a_{j+1/2}^{(k)}}{\overline{h_j}}D\left(u_j^{(k)}\right)\right)Q_j^{(k+1)} - \\ -\left(3\frac{a_{j+1/2}^{(k)}}{\overline{h_j}}D\left(u_{j+1}^{(k)}\right) - \lambda_j\right)Q_{j+1}^{(k+1)} = 3\frac{f_{j+1/2}^{(k)} - f_{j-1/2}^{(k)}}{\overline{h_j}}, \quad j = \overline{1, N-1}\end{gathered} \qquad (9)$$

$$\begin{gathered}\left(1 + \alpha_0\left(a_{1/2}^{(k)}D\left(u_0^{(k)} + \frac{h_0}{3}\right)\right)\right)Q_0^{(k+1)} - \alpha_0\left(a_{1/2}^{(k)}D\left(u_1^{(k)}\right) - \frac{h_0}{3}\right)Q_1^{(k+1)} = \alpha_0\left(f_{1/2}^{(k)} - U_0\right), \\ -\alpha_1\left(a_{N-1/2}^{(k)}D\left(u_{N-1}^{(k)}\right) - \frac{h_{N-1}}{3}\right)Q_{N-1}^{(k+1)} + \left(1 + \alpha_1\left(a_{N-1/2}^{(k)}D\left(u_N^{(k)}\right) + \frac{h_{N-1}}{3}\right)\right)Q_N^{(k+1)} = \\ = -\alpha_1\left(f_{N-1/2}^{(k)} - U_1\right)\end{gathered} \qquad (10)$$

Таким образом, получена неявная схема, имеющая второй порядок аппроксимации на неравномерной пространственной сетке, особенность которой состоит в том, что на каждом шаге по времени сначала вычисляются значения производных (потоков) искомого решения из системы уравнений (9) – (10), а затем по формуле (8) находится интегральное среднее самой функции. Полученная схема легко может быть модифицирована в целях повышения аппроксимации по времени. Так второй порядок точности по времени достигается путем простого пересчета по методу Рунге:

$$\tilde{u}^{(k+1)} = 2\tilde{u}^{(k+1)}\left(t^{(k)}, \frac{\Delta t}{2}\right) - \tilde{u}^{(k+1)}\left(t^{(k)}, \Delta t\right)$$

где значения $\tilde{u}^{(k+1)}\left(t^{(k)}, \frac{\Delta t}{2}\right)$ получены путем расчета с шагом по времени равном *Δt/2*.

На двух- и трехмерный случаи предлагаемая разностная сплайн-схема обобщается естественным образом с использованием стандартных процедур расщепления по пространственным переменным.

Тестовые расчеты, выполненные для обобщенной задачи работы [1], показали хорошую работоспособность предлагаемой разностной сплайн-схемы, в частности балансовые соотношения (3) выполнялись с высокой степенью точности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-08-00970-а.

Список литературы

1. *Kondyrin A, L.A.Komar L.A.,Svistkov A.L.* Combinatory model of curing process in epoxy composite // Composites: Part B (2011), doi:10.1016/j.compositesb.2011.11.019.
2. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. М., «Наука», 1977. – 656 с.
3. *Русаков С.В.* Разностные сплайн-схемы для задач тепло и массопереноса. Иркутск, ИрГУ, 1990, 124 с.
4. *Русаков С.В.* Параметрическая сплайн-схема для задач динамики вязкой жидкости // ДАН РАН, Математика, 1993, т.328, No 3, С.292-295.

01.02.05

О.Ю. Сметанников д.т.н., Н.П. Поносов

Пермский государственный исследовательский политехнический университет,
кафедра ВМиМ,
Пермь, sou@cpl.pstu.ac.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ В ANSYS CFX

Проведена верификация решения в пакете ANSYS CFX нестационарной задачи о движении сверхзвукового потока с подвижной внутренней границей данными натурного эксперимента. Даны рекомендации по выбору параметров расчетной схемы для краевых задач подобного класса.

Ключевые слова: *ANSYS CFX, сверхзвуковой поток, подвижная граница.*

Задачи о движении непроницаемых твердых тел в потоке жидкости/газа являются нестационарными и, как правило, нелинейными, что делает их аналитическое решение трудно реализуемым. В связи с этим возникает необходимость в численном решении подобных задач. Одним из основных методов решения в настоящее время является метод крупных частиц [1]. Подвижная жесткая область в этом случае задается специальными, переменными во времени, граничными условиями внутри неподвижной сетки ячеек. Другая схема реализована в конечно-элементном пакете ANSYS CFX: объем, занимаемый твердым телом, исключается из расчетной области с образованием подвижной адиабатической границы. В этом случае периодически требуется полное перестроение сетки, связанное с последующей интерполяцией параметров текущего состояния среды на новый дискретный аналог. В данной работе исследуются некоторые аспекты применения данной методики для решения задачи о высокотемпературном сверхзвуковом потоке с подвижным включением.

Расчетная схема задачи показана на рис. 1. Газ, нагретый до высокой температуры, под большим давлением истекает из перфорированного цилиндрического канала. Истечение газа стеснено жестким непроницаемым телом (снарядом), имеющим в начальный момент времени осевую скорость $V_0 = 900$ *м/с*. Дальнейшее движение снаряда определяется аэродинамической силой. Требуется определить интегральный осевой импульс, сообщаемый стенкам канала за время вылета тела (~1,3 мс). Расчетная область имеет две плоскости симметрии, поэтому рассматривается лишь четверть исследуемого объема.

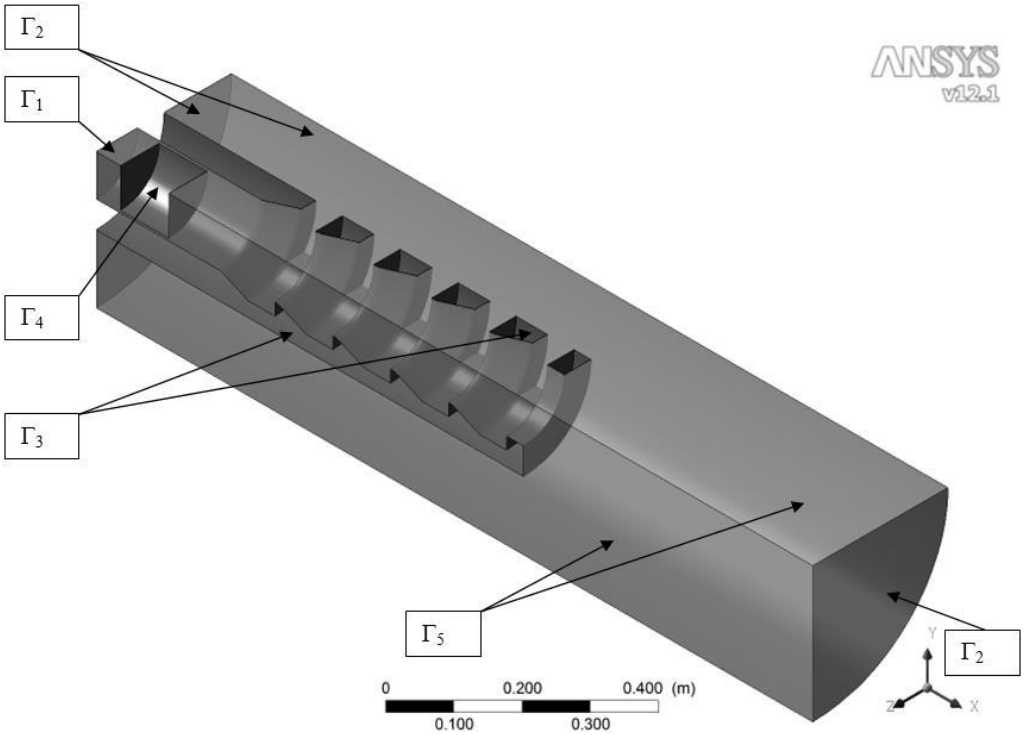


Рис.1. Геометрия расчетной области.

На входе (Γ_1 на рис. 1.) заданы равномерно распределенные по сечению давление, скорость и температура: $P_{inl}(t)=100\left(1-\frac{t}{0.005}\right)$ атм, $U_{xinl}(t)=900\left(1-\frac{t}{0.005}\right)$ м/с, $T_{inl}(t)=583^{\circ}K$. Стенки канала и твердого тела (Γ_3, Γ_4 на рис. 1.) - адиабатические с полным прилипанием. На внешней границе (Γ_2 на рис. 1.) заданы "открытые" (Opening в терминологии CFX) граничные условия, на Γ_5 - симметрия. Состояние среды в начальный момент времени соответствует нормальным условиям.

Краевая задача МЖГ с $k-\varepsilon$ моделью турбулентности включает [3]:

Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\nabla\left(\rho\bar{U}\right)=0; \tag{1}$$

Уравнения движения

$$\frac{\partial\left(\rho\bar{U}\right)}{\partial t}+\nabla\left(\rho\bar{U}\otimes\bar{U}\right)=-\nabla P'+\nabla\left(\mu_{eff}\left(\nabla\bar{U}+\left(\nabla\bar{U}\right)^{T}\right)\right); \tag{2}$$

$P'=P+\frac{2}{3}\rho k;$

Уравнение переноса энергии

$$\frac{\partial\left(\rho\tilde{h}\right)}{\partial t}-\frac{\partial P}{\partial t}+\nabla\left(\rho\bar{U}\tilde{h}\right)=\nabla\left(\lambda\nabla T+\nabla\frac{\mu_t h}{\mathrm{Pr}_t}\right)+\nabla\left(\bar{U}\tau^{eff}\right); \tag{3}$$

$$\tau_{ij}^{eff}=\tau_{ij}-\mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)+\frac{2}{3}\delta_{ij}\left(\rho k+\mu_t\frac{\partial U_k}{\partial x_k}\right);$$

Уравнение турбулентной кинетической энергии

$$\frac{\partial\left(\rho k\right)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_j k\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+P_k-\rho\varepsilon; \tag{4}$$

Уравнение вихревой диссипации

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_j\varepsilon\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right]+\frac{\varepsilon}{k}\left(C_{\varepsilon1}P_k-C_{\varepsilon2}\rho\varepsilon\right); \quad (5)$$

$$P_k=\mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial x_j}-\frac{2}{3}\frac{\partial U_k}{\partial x_k}\left(3\mu_t\frac{\partial U_k}{\partial x_k}+\rho k\right),$$

где $\bar{U}$ – вектор скорости, ρ – плотность, μ – динамическая вязкость, $\mu_t=C_\mu\rho\frac{k^2}{\varepsilon}$ - турбулентная вязкость λ – коэффициент теплопроводности, ω – молярная масса, c_p – теплоемкость при постоянном давлении, P – давление, T – температура, h – энтальпия, $\tilde{h}=h+\frac{1}{2}\bar{U}\bar{U}$ – полная энтальпия, $P_{абс}$ – абсолютное давление, R_0 – универсальная газовая постоянная, ∇ – оператор Гамильтона, C_{ij} - константы.

Дискретизация уравнений (1)-(5) в CFX реализуется с использованием метода контрольного объема [2]. Для аппроксимации по времени всех уравнений была применена разностная схема Эйлера первого порядка.

Для решения задачи с большими перемещениями подвижной границы (ПГ) использована технология пошагового перестроения сетки (Remeshing) - автоматизированная процедура, включающая следующие операции:

1. прерывание расчета при критическом смещении подвижной границы; 2. построение новой сетки; 3. интерполяция решения со старой сетки на новую; 4. возобновление расчета. До момента начала первой операции сетка вблизи ПГ деформируется без изменения структуры в соответствии с «диффузионным» алгоритмом Mesh deformation. При этом сетка рассматривается как упругая среда переменной жесткости. Перемещения узлов определяются из уравнением $\nabla\left(S_{disp}\nabla\delta\right)=0$, где δ – перемещения узла; $S_{disp}=(1/d)^C$ - жесткость сетки; d - расстояние от узла до ближайшей закрепленной границы; C - коэффициент жесткости. Интерполяция на новую сетку (операция 3) осуществляется при помощи функций формы элементов деформированной сетки, что при больших искажениях ячеек приводит к значительной погрешности. С другой стороны, сокращение времени счета требует увеличения размеров ячеек и интервала между перестроениями сетки. С целью выбора приемлемых с точки зрения точности решения параметров расчетной схемы была решена задача об обтекании поступательно движущейся со скоростью V_{sp} сферы встречным потоком воды со скоростью $-V_w$.

Верификация решения (задача 1) проводилась путем сравнения с экспериментальными данными [4] и решением эквивалентной задачи о неподвижной сфере в потоке со скоростью $V_{w1}=-V_w-V_{sp}$ (задача 2).

Вычислительный эксперимент проводился на мелкой сетке (для первого от границы сферы расчетного узла безразмерный параметр $y^+\approx11$) и грубой (для первого от границы сферы расчетного узла $y^+\approx200$), с размером ячеек примерно в 10 раз больше. В обоих случаях допустимые перемещения границы полагались равными пяти линейным размерам первого от нее элемента. Кроме того, варьировался параметр жесткости сетки C. Цель калибровки - выбор соотношения параметров C и y^+, обеспечивающих инженерную точность по коэффициенту сопротивления C_x [3] на грубой сетке: $\delta_{cx}=\left|C_x^{ex}-C_x^{sl}\right|/C_x^{ex}\cdot100\%\le10\%$, где индексами ex и sl обозначены экспериментальные и расчетные значения соответственно.

В результате проведения ряда численных экспериментов была получена следующая линейная зависимость:

$$C = 9,7 - (y^+ - 11) * 0,0142 \qquad (6)$$

Таблица. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

Re	C_x^{ex}	$C_x^{sl}(y^+ = 11)$ (задача 1)	$C_x^{sl}(y^+ = 11)$ (задача 2)	$C_x^{sl}(y^+ = 200)$ (задача 1)	$C_x^{sl}(y^+ = 200)$ (задача 2)
157200	0,471	0,173 (63%)	0,173(63%)	0,227(52%)	0,227(52%)
251300	0,313	0,153(51%)	0,153(51%)	0,201(36%)	0,205(36%)
298500	0,151	0,149(1,2%)	0,149(1,2%)	0,160 (5,9%)	0,162 (7,2%)
424500	0,143	0,139(2,8%)	0,139(2,8%)	0,153 (7,0%)	0,156 (9,1%)

В таблице приведены результаты расчетов коэффициента сопротивления в сравнении с экспериментом. Параметры расчета соответсвуют найденной зависимости (6). В скобках указана величина δ_{cx}. Из таблицы видно, что приемлемая точность обеспечивается только при $\mathrm{Re} > 30000$. Решения задач 1 и 2 совпадают с точностью до 2-го знака, что говорит о правильном выборе соотношения C, y^+ и шага перестроения сетки. Кроме того, выбранные коэффициенты зависимости (6) обеспечивают инженерную точность расчета даже на крупной сетке (при постоянном значении $C = 10$, принятом в ANSYS CFX по умолчанию, погрешность для $\mathrm{Re} > 30000$ на грубой сетке достигает 25%).

С использованием выбранных характеристик расчетной схемы была решена задача, описанная в начале статьи. Качество сетки соответствует $y^+ = 200$ (~230000 элементов). Зависимость от времени осевой равнодействующей давления на стенки канала F_x представлена на рис. 3. Как видно из рисунка, в интервале времени от 0,1 до 0,2 мс наблюдаются отрицательные значения F_x, вызванные неполным открытием первой боковой щели и давлением на его заднюю стенку. Пять локальных максимумов вызваны последовательным открытием щелей, последний сопровождает выход снаряда из канала, за которым следует постепенное уменьшение накатной силы. Импульс силы, сообщенный стенкам канала за время расчета, равен 405.007 (кг м)/с.

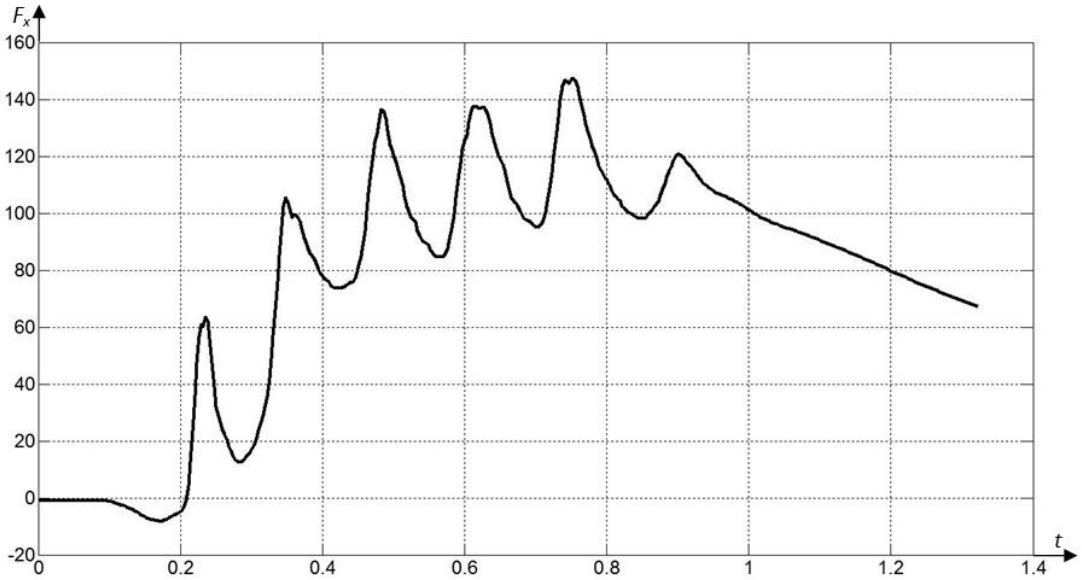


Рис. 2. Зависимость компоненты F_x интегральной силы (кН), действующей на канал, от времени (мс).

Суммарный импульс, сообщенный стенкам канала за время эксперимента, получается интегрированием этой зависимости, и равен 405.007 кг*м/с.

Таким образом, на основании проведенной верификации параметров расчетной схемы, используемых в ANSYS CFX для решении нестационарной краевой задачи с подвижными границами, выработаны рекомендации по их выбору. Полученный результат может быть, в частности, применен при проектировании дульных тормозов артиллерийских систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 13.G25.31.0093 от 22.10.2010 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. *Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М.* Метод крупных частиц в газовой динамике. Вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1982. – 392 с.
2. *Волков К.Н.* Дискретизация уравнений Навье-Стокса на подвижных неструктурированных сетках // Вычислительные методы и программирование. 2008. т. 9. - С. 256-273
3. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. – 7-е изд.. М.: Дрофа, 2003.- 840 с

01.01.07

[1]Г.С. Филиппов, [2]Б.Ю. Ященко к.т.н., [3]В.С. Николаенко к.т.н., [4]И.Е. Евдокимов

[1]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), filippov.gleb@gmail.com

[2]ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», t5d@rambler.ru

[3]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

[4]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), dir_sov@mail.ru

РАСЧЕТ ИНДИКАТРИССЫ СЛОЖНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

На основе итерационно-зонального метода и методик, используемых в компьютерной графике, разработан новый метод расчёта индикатрисы в поглощающей среде от сложных излучателей. Обмен энергией между площадками определялся при помощи метода прямого хода луча. Достоверность метода подтверждена экспериментом.

Ключевые слова: *математическое моделирование, индикатриса, излучение, излучатель, отражатель.*

Введение

Разработка способов расчёта пространственного распределения потоков лучистой энергии (индикатрисы) от сложных излучателей видимого и инфракрасного диапазонов, а также путей уменьшения их интенсивности, является актуальной для многих областей науки и техники.

Цель исследования - используя математическое моделирование разработать метод, который позволяет рассчитывать излучение нагретых поверхностей сложных излучателей и определять распределение лучистых потоков в пространстве.

Математическая модель излучателя

В качестве объекта математического моделирования пространственного распределения лучистой энергии был выбран излучатель, состоящий из цилиндрического источника излучения и тарельчатого отражателя, образованного внешними поверхностями двух соосных диффузно отражающих круговых прямых усечённых конусов, вершины которых обращены друг к другу и опираются на основания расположенного между ними цилиндрического светящего тела (рис. 1).

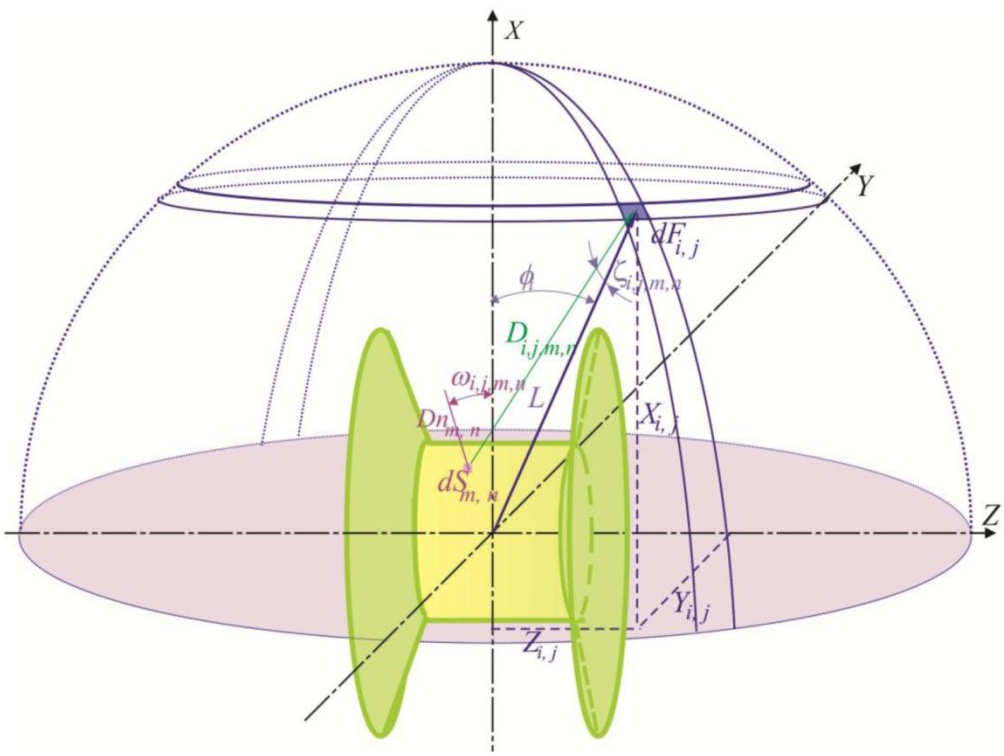


Рис. 1 - Поверхность излучателя и сфера суммирования

Модель излучателя (Рис. 1) разбита на элементарные площадки $dS_{m,n}$ с координатами центров $Xc_{m,n}$,$Yc_{m,n}$,$Zc_{m,n}$. Пространственное распределение отражённого излучения находилось в результате численного интегрирования потока излучения по сфере суммирования радиуса L. Сфера суммирования разбита на элементарные площадки $dF_{i,j}$ в соответствии с заданными параметрами разбиения по азимутальному θ_j и зенитному φ_i углу. Радиус *L* сферы суммирования может быть любым.

Косинус угла $\zeta_{i,j,m,n}$ между нормалью *L* к поверхности $dF_{i,j}$ и направлением $D_{i,j,m,n}$ на $dS_{m,n}$, и $\cos\omega_{i,j,m,n}$ между $Dn_{m,n}$ и $D_{i,j,m,n}$ на $dF_{i,j}$:

$$\cos(\zeta_{i,j,m,n}) = \frac{(Xc_{m,n} - X_{i,j})\cdot(0 - X_{i,j}) + (Yc_{m,n} - Y_{i,j})\cdot(0 - Y_{i,j}) + (Zc_{m,n} - Z_{i,j})\cdot(0 - Z_{i,j})}{L\cdot D_{i,j,m,n}}$$

$$\cos(\omega_{i,j,m,n}) =$$

$$\frac{(Xn_{m,n} - Xc_{m,n})\cdot(X_{i,j} - Xc_{m,n}) + (Yn_{m,n} - Yc_{m,n})\cdot(Y_{i,j} - Yc_{m,n}) + (Zn_{m,n} - Zc_{m,n})\cdot(Z_{i,j} - Zc_{m,n})}{Dn_{m,n}\cdot D_{i,j,m,n}}$$

Энергия $dQ_{i,j,m,n}$, излучаемая элементами $dS_{m,n}$, будет беспрепятственно распространяться в направлении площадок $dF_{i,j}$ в случае одновременного выполнения условий: элементы $dS_{m,n}$ не затенены и направление $D_{i,j,m,n}$ составляет угол менее 90º с нормалью к площадке сферы $dF_{i,j}$. Поток энергии $Q_{i,j}$ равен сумме потоков энергии $dQ_{i,j,m,n}$, излучаемых элементами $dS_{m,n}$, на площадки $dF_{i,j}$

$$Q_{i,j} = \sum_{n=1}^{nmax} \sum_{m=1}^{mmax} dQ_{i,j,m,n}$$

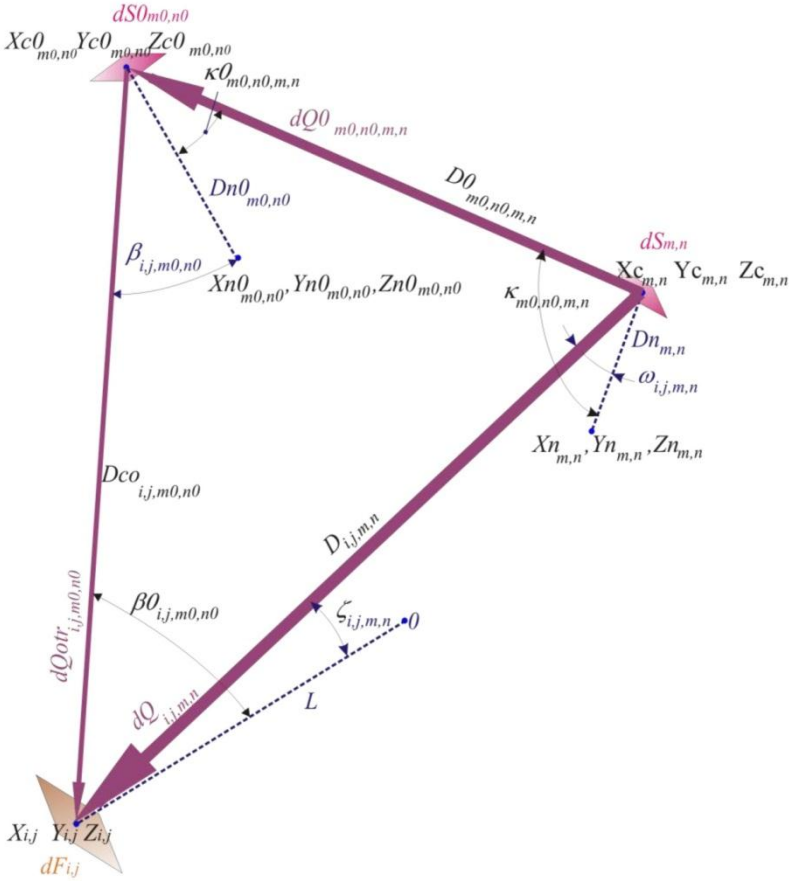


Рис. 2 - Схема расчёта отражённого и переотражённого излучения

Энергию, приходящую с разных направлений на элемент диффузно отражающей поверхности, в отличие от зеркальной, можно суммировать вне зависимости от угла падения. Это обстоятельство сильно (больше чем на два порядка) упрощает дальнейшие вычисления. Так суммарное излучение $dQots_{m0,n0}$ от площадок $dS_{m,n}$ на площадки $dS0_{m0,n0}$ равно:

$$dQots_{m0,n0} = \sum_m \sum_n dQ0_{m0,n0,m,n}$$

Энергия $dQotr_{i,j,m0,n0}$, отражаемая элементами $dS0_{m0,n0}$ в направлении площадок $dF_{i,j}$:

$$dQotr_{i,j,m0,n0} = \frac{dQots_{m0,n0} \cdot \left(1 - \alpha 0_{m0,n0}\right) \cdot \cos\left(\beta 0_{i,j,m0,n0}\right) \cdot \cos\left(\beta_{i,j,m0,n0}\right) \cdot dF_{i,j}}{\pi \cdot \left(Dco_{i,j,m0,n0}\right)^2}$$

$\beta_{i,j,m0,n0}$ - угол между нормалью $Dn0_{m0,n0}$ к поверхности $dS0_{m0,n0}$ и направлением $Dco_{i,j,m0,n0}$ на площадку $dF_{i,j}$, $\beta 0_{i,j,m0,n0}$ - угол между нормалью L к площадке $dF_{i,j}$ и направлением $Dco_{i,j,m0,n0}$ на $dS0_{m0,n0}$, $Dco_{i,j,m0,n0}$ –расстояние между центрами $Xc0_{m0,n0}, Yc0_{m0,n0}, Zc0_{m0,n0}$ поверхностей $dS0_{m0,n0}$ и $X_{i,j}, Y_{i,j}, Z_{i,j}$ площадки $dF_{i,j}$, равное

$$Dco_{i,j,m,n} = [(X_{i,j} - Xc0_{m0,n0})^2 + (Y_{i,j} - Yc0_{m0,n0})^2 + (Z_{i,j} - Zc0_{m0,n0})^2]^{1/2}$$

Используя аналогичные геометрические соотношения, выводятся зависимости для переотражённых составляющих излучения (рис.2). Количество проводимых расчетов (отражений) зависит от степени черноты отражающих поверхностей. Результаты расчёта приведены на рисунке 4 в виде зависимости, характеризующей изменение безразмерной силы излучения (I/I_{max}) от угла наблюдения $\zeta_{i,j,m,n}$..

Эксперимент

Для экспериментального подтверждения разработанного метода расчёта пространственного распределения лучистой энергии от сложных излучателей выбран метод светового моделирования. Законы распространения теплового излучения подчиняются законам геометрической оптики (в макроскопическом масштабе).

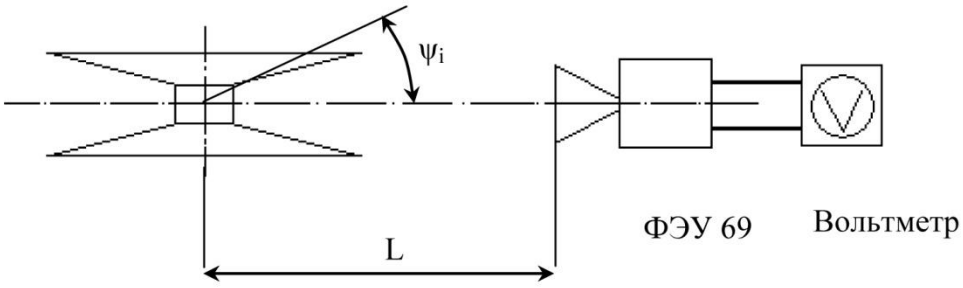


Рис. 3 - Схема светового эксперимента

Экспериментальный узел представлял цилиндрическую люминесцентную лампу (поз.1 Рис.3), на которой соосно закреплены два прямых круговых конических отражателя. Измерения индикатрисы проводились по схеме ГОСТ-17677-82. Изменение угла наблюдения ψ_i осуществлялось вращением поворотного стола с излучателем относительно неподвижного фотоэлектронного умножителя ФЭУ-69А.

Согласно полученным данным, математическая модель точно описывает экспериментальные закономерности пространственного распределения лучистого потока рассмотренного излучателя (Рис.4).

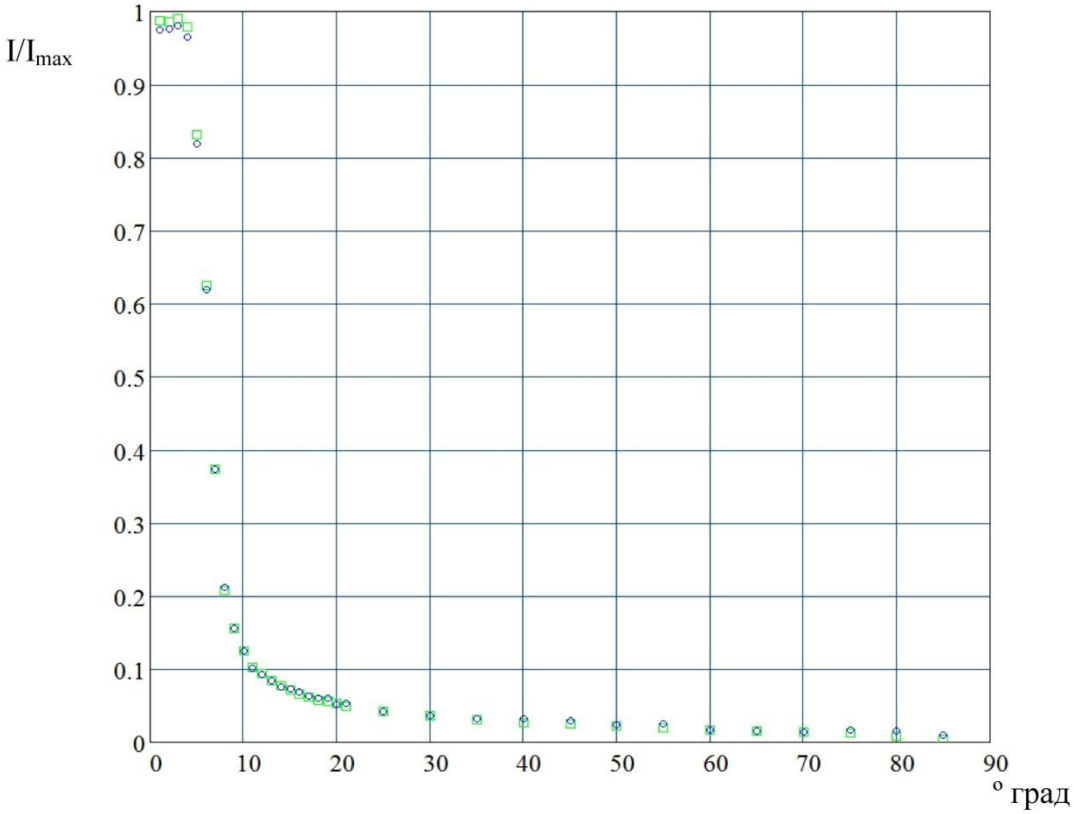


Рис. 4 - Зависимость безразмерной силы излучения от угла наблюдения
○ - эксперимент, □ - расчет, l_i=1 мм

Заключение

Хорошее совпадение пространственного распределения лучистой энергии, рассчитанное с использованием данного метода, как для простейших излучателей (диск, сфера, цилиндр и др.) с результатами их аналитических решений, так и для более сложных излучателей, с данными модельного физического эксперимента, позволяет сделать вывод о перспективности использования данной методики в технике.

Разработанная математическая модель востребована при расчёте пространственных лучистых потоков от сложных излучателей, например, двигателей и корпусов летательных аппаратов, у которых диффузно излучающие и отражающие поверхности сложной формы задаются в виде массива точек с координатами X_i ,Y_i, Z_i .

Список литературы

1. *Оцисик М.Н.,* Сложный теплообмен.- М., «Мир», 1976 г..
2. *Modest, M.F.*, Radiative Heat Transfer, Academic Press, New York 2nd edn. 2003.
3. *Зигель Р., Хауэлл Дж.,* Теплообмен излучением /Пер. с англ.- М., «Мир», 1975 г.
4. *Кущ О.К., Софронов Н.Н.* Расчет зеркальных светильников на ЭВМ с использованием сплайнов//Светотехника, 1985,№ 12,с.19-21.
5. *Власов И.В., Гук В.И., Николаенко В.С., Паневин И.Г.,* Расчёт индикатрисы излучателя. Рабочие процессы в подсистемах энергосиловых установок: Тем. сб. науч. тр./МАИ. –М., 1987.- 76с., ил.
6. *Шорин С.Н., Поляк Г.Л., Колченогова И.П., Адрианов В.Н., Ермолаев О.Н.* Световое моделирование лучистого теплообмена// Теплопередача и тепловое моделирование. М.: Изд. АН СССР,1959. С.365-418.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.03

О.М. Адианова, В.И. Летунов к.х.н.

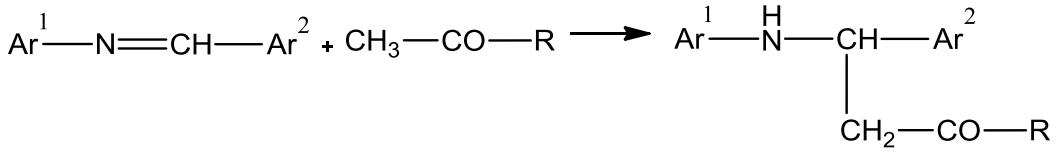
Забайкальский государственный гуманитарно-педагогический университет
имени Н.Г. Чернышевского,
факультет естественных наук, математики и технологии, кафедра химии,
Чита, adianova.olga@mail.ru, letunovvi@gmail.com

3-АРИЛИДЕНАМИНОПРОПАНОЛЫ В РЕАКЦИИ С МЕТИЛКЕТОНАМИ

Изучено взаимодействие 3-арилиденаминопропанолов с ацетофенонами. Найдено, что вместо ожидаемых продуктов присоединения ацетофенонов к шиффовым основаниям образуются непредельные кетоны.

Ключевые слова: *3-арилиденаминопропанолы, ацетофеноны, непредельные кетоны.*

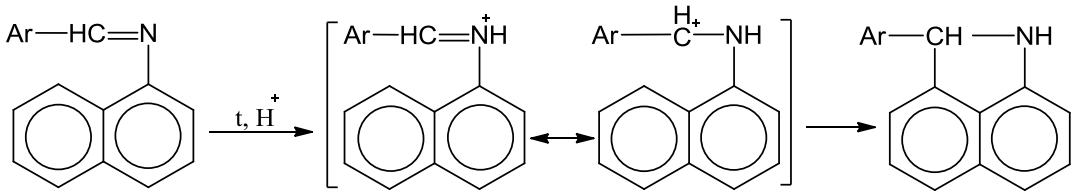
При изучении взаимодействия шиффовых оснований с метилкетонами было найдено, что шиффовы основания, полученные из ароматических аминов, образуют продукты присоединения метилкетонов по азометиновой связи с образованием ариламинокетонов (III) в соответствии со схемой (1) [1].



(1)

I II III

В то же время, ранее мы нашли, что некоторые внутримолекулярные взаимодействия шиффовых оснований могут воспрепятствовать такому протеканию реакций. Например, N-арилиден-1-нафтиламины в условиях этих реакций самоциклизуются в производные азааценафтена (V, схема 2), т.е. продуктов присоединения не образуют [2].



(2)

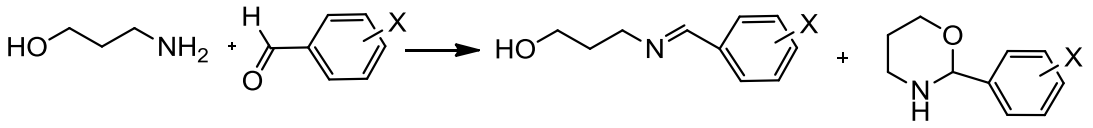
IV V

В настоящей работе мы столкнулись ещё с одним случаем внутримолекулярного взаимодействия у шиффовых оснований, которое могло бы воспрепятствовать присоединению метилкетонов. Это имеет место у шиффовых оснований, получаемых из 3-аминопропанола.

3-Аминопропанол является типичным алифатическим амином. Из алифатических аминов шиффовы основания получаются легко, даже в присутствии воды [3]. Но 3-аминопропанол помимо аминогруппы содержит ещё гидроксогруппу, которая пространственно должна быть сближенной с азометиновой связью в случае образования шиффова основания и должна, как минимум, образовывать внутримолекулярную водородную связь с азометиновой группой, что и наблюдали некоторые авторы [4]. Это должно затруднять присоединение любых

продуктов по азометиновой группе. За образованием внутримолекулярной водородной связи может последовать присоединение гидроксогруппы к метиновому атому углерода азометиновой группы. Но в случае индивидуальных азометинов и спиртов присоединения алифатических спиртов к азометинам ранее не отмечалось. В случае же некоторых алифатических аминоспиртов установлено, что может происходить самоциклизация за счет присоединения гидроксогруппы к азометиновой группе и это приводит к внутримолекулярной самоциклизации - наблюдается кольчато-цепная таутомерия [5]. Как найдено в работе [6], 3-аминопропанол с ароматическими альдегидами образует шиффовы основания, также самоциклизующиеся. Самоциклизация приводит к образованию 2-арил-тетрагидро-1,3-оксазинов, а между исходными шиффовыми основаниями и продуктами их самоциклизации (производными 1,3-оксазина) устанавливается динамическое равновесие.

В своей работе мы получили аналогичные результаты: при нагревании в спиртовой среде эквимолярных количеств ароматических альдегидов и 3-аминопропанола в присутствии каталитических количеств соляной кислоты получали жидкие (в случае бензальдегида, п-хлорбензальдегида, п-бромбензальдегида, м-нитробензальдегида) и твёрдый (в случае п-нитробензальдегида) продукты. Как показали результаты исследований на хромато-масс-спектрометре, они оказались смесью шиффовых оснований (VIII a-e) и продуктов их циклизации, производных тетрагидро-1,3-оксазина (2-арилтетрагидро-1,3-оксазинов) (IX a-e).

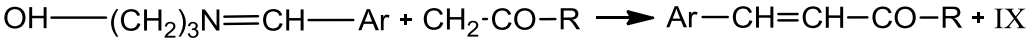


(3)

VI VII a-e VIII a-e IX a-e

X=H (a); п-C1 (b); п-Br (c); п-NO_2 (d); м-NO_2 (e)

Полученные смеси соединений вводили в реакцию с ацетофеноном и п-нитроацетофеноном, надеясь получить продукты их присоединения к азометинам. Нагревание их в спиртовой среде с указанными метилкетонами в присутствии каталитических количеств соляной кислоты привело к образованию непредельных кетонов (халконов). Соединения (IX) оставались без изменения (найдено с помощью хромато-масс-спектрометра). Т.е. взаимодействовали с метилкетонами только шиффовы основания в соответствии со схемой (4).



(4)

X a-e XI a,b XII a-e

XI a – ацетофенон, XI b – п-нитроацетофенон

Выделенные соединения (XII a-e) приведены в таблице, $T_{пл}$ приведенных соединений совпадают с литературными данными [7].

Таблица - Соединения, выделенные при взаимодействии 3-(N-арилиденамино)- пропанолов с ацетофеноном и п-нитроацетофеноном

№	Название соединения	$T_{пл}$ (^oC)	Выход (%)
1	1,3-дифенилпропенон-1	58-59	16
2	1-фенил-3-(4-хлорфенил)-пропенон-1	114-115	18
3	1-фенил-3-(4-бромфенил)-пропенон-1	120-121	17
4	1-фенил-3-(4-нитрофенил)-пропенон-1	164-156	23
5	1-(4-нитрофенил)-3-фенил-пропенон-1	146-147	22
6	1-(4-нитрофенил)-3-(4-хлорфенил)-пропенон-1	162-163	26
7	1-(4-нитрофенил)-3-(4-бромфенил)-пропенон-1	154-155	27
8	1-(4-нитрофенил)-3-(4-нитрофенил)-пропенон-1	208-209	29

Из таблицы следует, что чем выше электрофильность метинового углерода шиффова основания, тем больше равновесие смещено в сторону его самоциклизации. Это позволяет считать циклизацию данных шиффовых оснований реакцией нуклеофильного присоединения гидроксогруппы N-арилиден-3-аминопропанолов к их же азометиновой связи. Подтверждением этого является тот факт, что для 4-оксибензальдегида было получено типичное шиффово основание, без примеси продукта самоциклизации (установлено при изучении продуктов на хромато-масс-спектрометре «Хроматэк-Кристалл 5000»). Это оказалось возможным, по нашему мнению, благодаря снижению электрофильности метинового углерода азометиновой связи из-за прямого полярного сопряжения с ней электронодонорной гидроксогруппы в 4-м положении альдегидного ядра азометина. По этой же причине, на наш взгляд, не произошло взаимодействие с этим шиффовым основанием ацетофенонов.

Образование халконов в реакции шиффовых оснований, полученных из ароматических аминов с метилкетонами, наблюдалось и ранее [8], но это происходило лишь при высокой кислотности при температуре кипения этанола. Снижение температуры до комнатной приводило к образованию продуктов присоединения метилкетонов (III) без образования халконов [9]. В нашем случае такое изменение условий реакции не приводило к образованию новых продуктов (никакого взаимодействия не происходило). Производные оксазина (IXа-е) в условиях данной реакции оставались без изменений.

Экспериментальная часть

Попытки синтеза шиффовых оснований осуществляли по следующей методике: смешивали по 0,15 моля 3-аминопропанола и соответствующего альдегида. Наблюдалось некоторое разогревание смеси. Если это не наблюдалось, прибавляли 1 каплю концентрированной соляной кислоты. Далее приливали 5 мл спирта, всё растворяли при перемешивании, нагревали на водяной бане 20 минут и помещали смесь в холодильник. В случае п-оксибензальдегида и п-нитробензальдегида получали кристаллические продукты. Очищали перекристаллизацией из спирта, определяли $T_{пл}$ и анализировали на хромато-масс-спектрометре «Хроматек-Кристалл 5000». Анализ показал, что с п-оксибензальдегидом получили типичное шиффово основание с $T_{пл}$ 104-105 ^{0}С.

Полученные смеси шиффовых оснований и продуктов их самоциклизации вводили в реакцию с ацетофеноном и п-нитроацетофеноном. Для чего после 20 минутного нагревания смеси 3-аминопропанола с альдегидом к реакционной среде прибавляли 2 капли концентрированной соляной кислоты и 0,15 моль ацетофенона (п-нитроацетофенона), нагревали 1 час на водяной бане, приливали 3 капли водного аммиака и помещали смесь в холодильник. Выпавшие кристаллы отфильтровывали, перекристаллизовывали несколько раз из спирта до постоянной температуры плавления. Анализировали также на хромато-масс-спектрометре «Хроматэк-Кристалл 5000».

Выводы

1. 3-аминопопанол образует с ароматическими альдегидами шиффовы основания, самоциклизующиеся в 2-арилтетрагидро-1,3-оксазины с образованием равновесной смеси шиффова основания и продукта его самоциклизации.

2. При введении данной смеси в реакцию с ацетофенонами новыми продуктами реакции являются непредельные кетоны (халконы), образующиеся из шиффова основания и метилкетона. То есть, в отличие от шиффовых оснований, полученных из ароматических аминов, шиффовы основания, полученные из алифатических аминов, продуктов присоединения метилкетонов по азометиновой связи не образуют.

Список литературы

1. *Козлов Н.С., Абрамова З.А.* // ЖОХ. 1961, т.31, вып. 7, с.2236.
2. *Летунов В.И., Солдатова Н.П.* // ЖОрХ. 1978, т.XIV, вып.6, с.1340.
3. *Теннант Д.* Общая органическая химия. Азотсодержащие соединения. М.: Химия, 1982, т.3, с.504.
4. *Гартман Г.А., Пак В.Д., Улашкевич Ю.В., Яганова Н.Н.* // ЖПХ. 1991, № 5, с. 1055
5. *Саргасян М.С., Конькова С.Г.* // Хим. ж. Армении. 2005, т.58, №3, с. 46.
6. *Гартман Г.А., Пак В.Д., Улашкевич Ю.В., Яганова Н.Н.* // ЖПХ. 1991, № 5, с.1056
7. *Козлов Н.С., Аспицкая А.Ф., Киселёв Б.И., Козлова Т.Е.* // Каталитический синтез органических соединений. Пермь, 1976, с.8.
8. *Козлов Н.С., Пак В.Д.* // ЖОХ. 1962, т.32, вып. 9, с.3386.
9. *Козлов Н.С., Пак В.Д.* // Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. 1962, №3, с.442.

02.00.15

О.В. Манаенков к.х.н., А.Е. Филатова, О.Ю. Макеева, М.Г. Сульман д.х.н., Э.М. Сульман д.х.н., А.С. Торозова, О.В. Кислица к.х.н.

Тверской государственный технический университет,
кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, ovman@yandex.ru

КОНВЕРСИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СРЕДЕ СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ПРИСУТСТВИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРИРОВАНИЯ

В работе представлены результаты исследования процесса гидролитического гидрирования целлюлозы в среде субкритической воды в присутствии Ru-содержащего катализатора на основе сверхсшитого полистирола (СПС). Было показано, что использование носителя нового типа повышает эффективность конверсии целлюлозы в полиолы – важное сырьё для химической промышленности.

Ключевые слова: *целлюлоза, гетерогенный катализ, субкритическая вода, гидрирование, полиолы.*

Истощение запасов невозобновляемых полезных ископаемых обусловливает необходимость разработки новых процессов переработки возобновляемого растительного сырья, в первую очередь, целлюлозы [1].

По некоторым оценкам, ежегодно синтезируется 10^{11} – 10^{12} тонн целлюлозы, и лишь очень небольшая часть от этого количества используется в промышленности [1, 2]. Возобновляемые запасы целлюлозы способны обеспечить непрерывное производство химикатов и биотоплива второго поколения в большом объёме [3].

Большое количество гидроксильных групп в составе целлюлозы обуславливает наиболее оптимальный путь её конверсии – конверсию в полиолы [4]. Целлюлозу подвергают гидролизу до глюкозы, которая в присутствии катализаторов гидрируется с образованием сорбитола, маннитола и некоторого количества полиолов C_5 – C_2. Важной задачей является выбор оптимального катализатора. В процессах прямой конверсии целлюлозы в полиолы наиболее эффективны Ru-содержащие катализаторы. При этом открытым остаётся вопрос об оптимальном носителе. Наиболее часто для стабилизации наночастиц Ru используют активированный уголь (Ru/AC), который дёшев, но обеспечивает сравнительно невысокий выход гекситолов [4]. Перспективными носителями являются углеродные нанотрубки (Ru/CNT) [5] и нановолокна (Ni/CNF) [6], однако данные виды носителей достаточно дороги и пока не могут применяться в промышленных масштабах.

Проблемным также является вопрос среды, в которой проводится конверсия целлюлозы. Определённым потенциалом в этом смысле обладают ионные жидкости [7], но их применение осложнено отделением катализатора и полиолов от компонентов среды. Многие исследователи сходятся во мнении, что гидролиз в субкритической воде – это необходимый начальный этап для дальнейших исследований в области переработки целлюлозы [8].

Цель данной работы – исследование процесса конверсии целлюлозы в среде субкритической воды в присутствии Ru-содержащих полимерных катализаторов нового типа на основе сверхсшитого полистирола (СПС) и его функционализированных аналогов. Данный тип катализаторов проявляет высокую активность в процессах гидрирования; обладает развитой удельной поверхностью, а наночастицы активной фазы монодисперсны и имеют средний диаметр 1.4 ± 0.3 нм [9].

Экспериментальная часть

Конверсию целлюлозы осуществляли при следующих условиях: температура 245 ^{0}C, парциальное давление водорода 60 атм, число оборотов пропеллерной мешалки 600 в минуту. Эксперименты проводили в стальном реакторе высокого давления PARR 4843 объемом 50 см^3. В реактор загружали микрокристаллическую целлюлозу, катализатор и 30 мл дистиллированной воды. Реактор трижды продували водородом под давлением, после

чего включали нагрев и, для предотвращения образования локальных зон перегрева и насыщения поверхности катализатора водородом, перемешивание ≈ 100 об/мин. После достижения 245 ^{0}С обороты мешалки повышали до 600 об/мин. Этот момент служил началом отсчёта времени эксперимента. По окончании опыта катализатор и негидролизованную целлюлозу отделяли фильтрованием. В жидкой фазе методом ВЭЖХ определялись концентрации основных продуктов конверсии.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлена типичная хроматограмма анализа реакционной смеси после проведения эксперимента. Основными продуктами являются сорбитол (С), маннитол (М), 1,4-сорбитан (1,4-С), ксилитол (К), эритритол (Э), глицерол (Г), пропиленгликоль (ПГ) и этиленгликоль (ЭГ). Хромато-масс-спектрометрический анализ показал также наличие в жидкой фазе следовых количеств целлобиозы, гексан-1,2,5,6-тетрола, гексан-1,2,3,4,5-пентола и некоторых других продуктов гидрогенолиза глюкозы и сорбита.

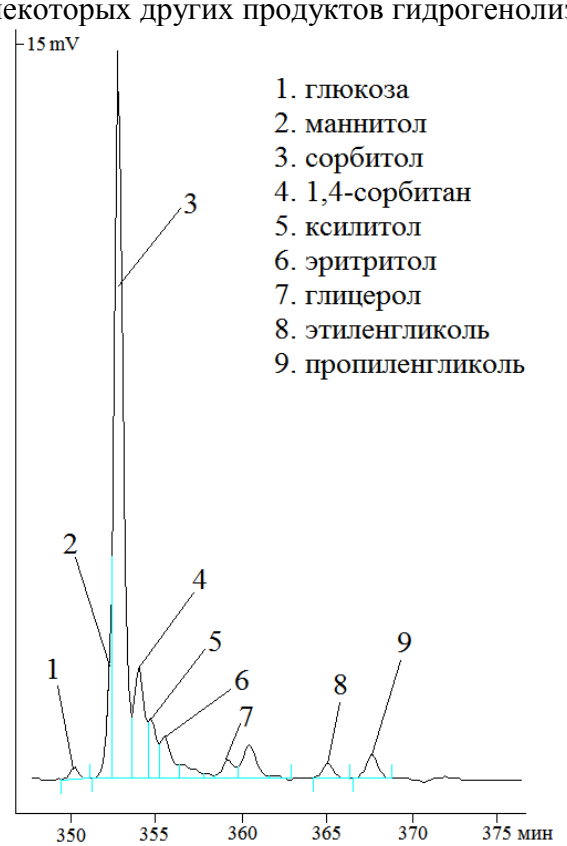


Рис. 1 – Хроматограмма анализа продуктов конверсии целлюлозы.
Условия процесса: 245 ^{0}С, давление H_2 60 атм, перемешивание 600 об/мин, время процесса 5 мин, катализатор 1.0 % Ru/СПС MN270 (0.028 ммоль Ru на 1 г целлюлозы).

Оптимальными условиями, при которых селективность по сорбитолу и маннитолу достигала максимальных значений, соответственно, 31.8 и 3.6 %, были следующими. Температура процесса 245 ^{0}С, парциальное давление водорода 60 атм, число оборотов пропеллерной мешалки 600 в минуту, катализатор 1.0 % Ru/СПС MN 270 (0.028 ммоль Ru на 1 г целлюлозы). Конверсия целлюлозы при этих условиях составила 84.3 %. В таблице 1 представлены результаты исследования влияния параметров процесса на конверсию целлюлозы и селективность по основным продуктам конверсии.

Субкритическая вода показала себя эффективной средой для проведения быстрого (≈ 5 мин) процесса гидролиза целлюлозы до глюкозы. Одним из преимуществ такой среды является увеличение растворимости газов, что, в свою очередь, способствует диффузии водорода из газовой фазы к поверхности катализатора, ускоряя, таким образом, каталитический процесс гидрогенолиза. Основным продуктом гидролитического гидрировании целлюлозы в указанных условиях является сорбитол. Суммарный выход сорбитола и маннитола при использовании 1.0 % Ru/СПС MN 270 достигает 30 %, что на

8 – 9 % больше, чем при использовании 4.0 % Ru/C [4]. Получаемый водный раствор второстепенных продуктов конверсии, таких как 1,4-сорбитан, ксилитол, эритритол и низших полиолов, может напрямую использован в процессе жидкофазного риформинга для получения синтез-газа. Выход низших полиолов можно увеличить, повысив температуру процесса (табл. 1) или добавляя к реакционной среде основания, катализирующие ретроальдольный распад сахаров.

Таблица 1 – Влияние параметров процесса на конверсию целлюлозы и селективность по основным продуктам[1]

Изменяемый параметр:	Конверсия целлюлозы, %	Селективность, %							
		С	М	1,4-С	К	Э	Г	ПГ	ЭГ
Температура:									
230 ^{0}C	41.4	17.1	3.0	3.0	5.8	2.7	2.2	4.2	2.7
245 ^{0}C	70.0	24.9	3.4	5.6	4.7	3.7	1.3	3.0	1.9
260 ^{0}C	93.2	10.4	1.4	2.0	2.6	2.8	1.9	5.2	4.7
Парциальное давление водорода:									
40 атм	69.4	14.2	1.9	2.7	3.5	1.7	0.8	1.5	3.2
60 атм	70.0	24.9	3.4	5.6	4.7	3.7	1.3	3.0	1.9
80 атм	92.2	17.9	2.1	3.0	2.8	1.9	1.2	2.9	2.6
100 атм	96.5	20.6	4.5	4.8	3.8	2.3	1.1	2.8	2.2
120 атм	94.8	24.6	4.9	7.2	6.1	4.0	2.3	2.7	1.7
140 атм	92.6	28.8	6.3	6.9	6.3	3.1	1.5	1.4	1.2
Время процесса:									
1 мин	61.6	20.4	3.2	3.5	4.4	3.4	2.0	4.0	2.7
5 мин	70.0	24.9	3.4	5.6	4.7	3.7	1.3	3.0	1.9
10 мин	78.5	20.1	2.3	4.5	3.7	3.4	1.6	3.2	2.1
20 мин	82.5	19.2	2.0	4.5	3.5	3.3	1.7	3.3	2.3
30 мин	83.1	12.8	2.1	4.3	3.2	3.8	2.6	4.3	3.2
Режим перемешивания:									
500 об/мин	83.8	1.7	13.6	2.2	2.2	2.0	1.1	2.4	2.0
600 об/мин	70.0	24.9	3.4	5.6	4.7	3.7	1.3	3.0	1.9
700 об/мин	83.0	18.0	2.5	2.8	3.1	2.8	1.6	3.4	2.8
Процентное содержание Ru в катализаторе (Ru/СПС MN 270):									
3.0 %	70.0	24.9	3.4	5.6	4.7	3.7	1.3	3.0	1.9
2.0 %	81.3	23.0	3.1	3.2	3.3	2.5	2.1	3.5	2.6
1.0%	91.4	25.4	3.4	8.0	4.4	3.3	1.7	1.8	1.1
Тип носителя:									
5.0 % Ru/C[2]	76.1	12.9	1.7	2.3	2.8	2.3	1.7	3.5	3.3
3.0 % Ru/СПС MN 100	99.1	9.8	1.0	4.4	2.3	1.3	1.0	2.3	3.1
3.0 % Ru/СПС MN 270	70.0	24.9	3.4	5.6	4.7	3.7	1.3	3.0	1.9
3.0 % Ru/СПС MN 500	80.6	1.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	1.4
Соотношение Ru/целлюлоза (ммоль/1 г)[3]									
0.042/1	91.4	25.4	3.4	8.0	4.4	3.3	1.7	1.8	1.1
0.028/1	84.3	31.8	3.6	6.2	3.6	3.3	1.8	2.9	1.9

[1] 245 ^{0}C, 60 атм H_2, 30 мл воды, 3.0 % Ru/СПС MN 270 (0.042 ммоль Ru на 1 г целлюлозы), 600 об/мин.
[2] Промышленный катализатор, J. Matthey, Materials Technology, U.K.
[3] 245 ^{0}C, 60 атм H_2, 30 мл воды, 1.0 % Ru/СПС MN 270, 600 об/мин.

Глюкоза в условиях процесса гораздо менее стабильна, чем сорбитол. Об этом свидетельствует бурая окраска растворов, получаемых в условиях, когда скорость гидрогенизации глюкозы достаточно мала (давление H_2 < 40 атм, обороты мешалки < 500 в мин и т.д.), и часть глюкозы деградирует, образуя окрашенные продукты. Таким образом, для увеличения селективности по гекситолам необходимо обеспечить непосредственную гидрогенизацию глюкозы, образующуюся при гидролизе целлюлозы. До определённого момента это можно обеспечить оптимальным режимом перемешивания или повышением давления водорода (табл. 1). Однако решающее значение имеет эффективность катализатора.

В ходе исследования испытываемые катализаторы на основе СПС сравнивались в промышленным катализатором 5.0 % Ru/C (J. Matthey, Materials Technology, U.K.). Было показано (табл. 1), что данный катализатор менее эффективен. Кроме того, разной эффективностью обладают и функционализированные аналоги СПС. Так, например, катализатор 3.0 % Ru/СПС MN 500 на основе сульфированного СПС (MN 500) оказался непригодным. Катализатор 3.0 % Ru/СПС MN 100 на основе СПС, функционализированного аминогруппами показал более чем вдвое меньшую эффективность (селективность по сорбитолу 9.8 % против 24.9 % при использовании 3.0 % Ru/СПС MN 270). Наиболее эффективными оказались катализаторы на основе СПС марки MN 270. При этом уменьшение процентного содержания рутения с 3,0 до 1,0 % практически не повлияло на селективность по сорбитолу (во всех случаях она составила около 25.0 %), однако доля образующихся спиртов C_3 – C_2 снижалась. Уменьшение количества Ru, приходящегося на 1 г целлюлозы, с 0.042 до 0.028 ммоль обусловило увеличение селективности до 31.8 %. При этом же наблюдалось незначительное увеличение количества образующихся низших полиолов.

Достаточно интересным оказалось влияние парциального давления водорода на количественный состав получаемых продуктов конверсии. Было показано, что с ростом давления количество образующихся низших полиолов снижается, а селективность по сорбитолу имеет два максимума: при 60 и 140 атм.

Увеличение времени процесса вызвало закономерное снижение селективности по спиртам C_6 – C_4 и увеличение, вследствие их гидрогенолиза, доли образующихся спиртов C_3 – C_2.

Трёхкратное использование оптимального катализатора 1.0 % Ru/СПС MN 270 не привело к сколько-либо заметному снижению селективности. Анализ жидкой фазы методом атомно-абсорбционной спектрометрии показал, что вымывания частиц активной фазы катализатора не происходит.

Результаты исследования показывают, что процесс гидролитического гидрирования целлюлозы в среде субкритической воды в присутствии катализатора 1.0 % Ru/СПС MN 270 позволяет практически полностью конвертировать целлюлозу в гекситолы и другие, необходимые современной химической промышленности, спирты. Данный процесс может быть, например, совмещён с процессами жидкофазного риформинга и Фишера-Тропша с целью производства биотоплива второго поколения.

Работа была выполнена в рамках проекта, финансируемого РФФИ (номер гранта 12-03-31568).

Список литературы

1. *Okkerse C., van Bekkum H*. From fossil to green // Green Chem. 1999. № 1. P. 107-114.
2. *Yang P., Kobayashi H., Fukuoka A.* Recent Developments in the Catalytic Conversion of Cellulose into Valuable Chemicals // Chin. J. Catal. 2011. № 32. P. 716-722.
3. *Corma A., Iborra S., Velty A.* Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals // Chem Rev. 2007. № 107. P. 2411- 2502.
4. *Luo C., Wang S., Liu H.* Cellulose conversion into polyols catalyzed by reversibly formed acids and supported ruthenium clusters in hot water // Angew Chem Int Ed. 2007. № 46. P. 7636-7639.
5. *Deng W. et al.* // Catal Lett. 2009. № 133. P.167-174.
6. *Van de Vyver S. et al.* // Chem. Sus. Chem. 2010. № 3. P. 698-701.
7. *Zhu Y. et al.* // Chem. Sus. Chem. 2010. № 3. P. 67-70.
8. *Yang P. et al.* // Chinese Journal of Catalysis. 2011. Vol. 32, № 5. P. 716-722.
9. *Григорьев М.Е., Матвеева В.Г., Сульман Э.М.* Наночастицы Ru, импрегнированные в матрицу сверхсшитого полистирола, в каталитическом синтезе D-сорбита // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2010. Т.53, № 1. С. 54-57.

02.00.10

[1]Л.И. Юревич, [2]А.В. Лисов к.б.н., [1,2]А.А. Леонтьевский д.б.н.

[1]Пущинский государственный естественно-научный институт,
Пущино

[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН,
лаборатория микробной энзимологии,
Пущино, ssl206@rambler.ru

ДВУХДОМЕННАЯ ЛАККАЗА БАКТЕРИИ *STREPTOMYCES LIVIDANS* AC-1709 – ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЙ БИОКАТАЛИЗАТОР, АКТИВНЫЙ ПРИ ЩЕЛОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ pH

Двухдоменная лакказа была клонирована из генома бактерии Streptomyces lividans Ac-1709, была определена последовательность гена. Был получен рекомбинантный продуцент биокатализатора и проведена очистка биокатализатора. Исследованы физико-химические и каталитические свойства двухдоменной лакказы. Обнаружено, что двухдоменная лакказа была термостабильной и сохраняла активность при 80°С в течение часа. Двухдоменная лакказа катализировала окисление ряда фенольных субстратов при щелочных значениях pH.

Ключевые слова: *двухдоменная лакказа, биокатализ, окисление фенольных соединений, получение биокатализатора*.

Лакказа (1,4-дигидроксибензол: кислород оксидоредуктаза ЕС 1.10.3.2) – фермент-биокатализатор, катализирующий окисление различных соединений кислородом, который в ходе реакции восстанавливается до воды. Биокатализатор встречается у различных организмов: грибов [1], растений [2], бактерий [3]. Лакказа принадлежит к группе ферментов, называемых медьсодержащими оксидазами. Активный центр лакказы содержит четыре атома меди, которые организованны в три медьсодержащих центра: Т1 центр с одним атомом меди, обуславливающий синий цвет биокатализатора, Т2 центр, также содержащий один атом меди, и Т3 центр, содержащий два атома меди [4]. Медьсодержащие центры Т2 и Т3 расположены близко друг от друга и формируют Т2/Т3 центр. Субстраты лакказы окисляются в Т1 центре, после чего электроны перемещаются в Т2/Т3 центр, где происходит восстановление кислорода до воды [5]. Молекула типичной лакказы состоит из трех доменов [6]. Однако обнаружены лакказы, молекула которых состоит из двух доменов [7, 8]. Двухдоменные лакказы изучены очень слабо, что странно, поскольку лакказы активно используют в биотехнологии, и в мире идет постоянный поиск лакказ, обладающими новыми свойствами. Лакказа обладает низкой субстратной специфичностью и катализирует окисление замещенных фенолов, ароматических аминов, некоторых азокрасителей [9]. В результате окисления субстратов лакказой образуются хиноны и феноксирадикалы, которые взаимодействуют друг с другом или с другими молекулами с образованием новых соединений. Такие качества лакказы позволяют применять ее в химическом синтезе. Лакказу используют для синтеза полимерных соединений, в частности электропроводящих полимеров [10, 11], лакового покрытия древесины [12]. Лакказу применяют для синтеза новых лекарств: циклоспоринов [13], антиоксидантов [14]. С помощью лакказы синтезируют различные красители [15].

Целью исследования являлось клонирование, получение и изучение свойств новой двухдоменной лакказы бактерии *Streptomyces lividans* Ac-1709. Бактерия *S. lividans* Ac-1709

была получена из Всероссийской коллекции микроорганизмов [16]. Поскольку условия продукции лакказы бактериями рода *Streptomyces* неизвестны, для получения биокатализатора необходимо создание рекомбинантного продуцента. Для его получения было проведено клонирование гена. Ген, кодирующий двухдоменную лакказу, был получен из тотальной ДНК бактерии *S. lividans* Ac-1709 с помощью ПЦР (полимеразная цепная реакция). Праймеры для реакции ПЦР были сконструированы на основе последовательности двухдоменной лакказы бактерии *S. lividans* TK24, для которой известна полная последовательность генома [17]. Для двухдоменная лакказы бактерии *S. lividans* TK24 известна только последовательность, полученная из данных о полном геноме бактерии [18]. Этот биокатализатор никогда не изучался ранее. Для проведения ПЦР были использованы следующие праймеры: прямой праймер – ATGGACAGGCGAGGCTTCAA; обратный праймер – TCAGTGCTCGTGTTCGTGTG. После проведения ПЦР продукты реакции разделяли с помощью электрофореза в агарозном геле. Для фрагмента ДНК, обладающего молекулярной массой характерной для гена двухдоменной лакказы, определили нуклеотидную последовательность. После сравнения последовательности гена двухдоменной лакказы бактерии *S. lividans* Ac-1709 с геном двухдоменной лакказы бактерии *S. lividans* TK24 были обнаружены единичные нуклеотидные замены. Однако эти замены не влияли на аминокислотную последовательность, которая была идентична для биокатализатора из бактерий *S. lividans* Ac-1709 и *S. lividans* TK24. С целью получения биокатализатора был создан рекомбинантный продуцент. Рекомбинантный продуцент был получен на основе коммерческого вектора pQE-30, позволяющего вводить в состав рекомбинантного биокатализатора 6-His последовательность для упрощения процедуры очистки. Ген двухдоменной лакказы, полученный в ходе ПЦР, был вставлен в вектор с помощью рестриктаз BamHI и HindIII. Клетки бактерии *E. coli* M15(Rep4) трансформировали вектором pQE-30 и отбирали с помощью селекции в присутствии канамицина и ампициллина. Полученный рекомбинантный продуцент использовали для наработки биокатализатора.

Для наработки двухдоменной лакказы рекомбинантную бактерию *E. coli* M15(Rep4) выращивали в присутствии индуктора - изопропил-β-D-1-тиогалактопиранозида, выделяли клетки, проводили разрушение клеток ультразвуком и выделяли биокатализатор из клеточного лизата. Очистка проводилась с помощью металл-хелатной хроматографии на колонке объемом 5 мл с носителем Ni-Sepharose. После металл-хелатной хроматографии окончательную очистку биокатализатора проводили с помощью гельфильтрации на колонке размером 26 × 60 см с носителем Superdex 200. Чистоту полученного препарата проверяли с помощью SDS-ПААГ электрофореза. Полученный препарат двухдоменной лакказы обладал электрофоретической гомогенностью.

Исследование pH оптимума окисления фенольного соединения проводили в универсальной буферной системе, которая была приготовлена путем смешивания равных объемов 0.1 M H_3PO_4, 0.1 M H_3BO_3 и 0.1 M уксусной кислоты. Необходимое значение pH получали внесением 2 M NaOH. В качестве окисляемого вещества использовали типичный субстрат лакказ – 2.6-диметоксмифенол. Окисление субстрата фиксировали спектрофотометрически по увеличению поглощения при 469 нм за счет образования окисленного продукта. Скорость окисления 2.6-диметоксифенола биокатализатором сильно зависела от величины pH (рис. 1). Субстрат медленно окислялся в присутствии биокатализатора при значении pH 6.0 – 6.5, реакция ускорялась в нейтральной области, оптимум окисления составлял около 8,5 единиц pH, тем не менее, реакция окисления наблюдалась даже при величине pH 9,5. Такое свойство необычно для лакказы, поскольку наиболее изученные лакказы грибов и растений, составляющие большую часть коммерчиских препаратов, обладают оптимумом окисления фенольных соединений в кислой области pH. В щелочной области pH лакказы грибов и растений не активны [1]. Было проведено исследование окисления других фенольных соединений при щелочном значении pH. Реакцию проводили в 0.1 M универсальном буфере pH 8.5, концентрация субстратов

0.1 мМ. Окисление фенольных соединений фиксировали спектрофотометрически по изменениям в спектре поглощения вещества при длинах волн 200 – 900 нм.

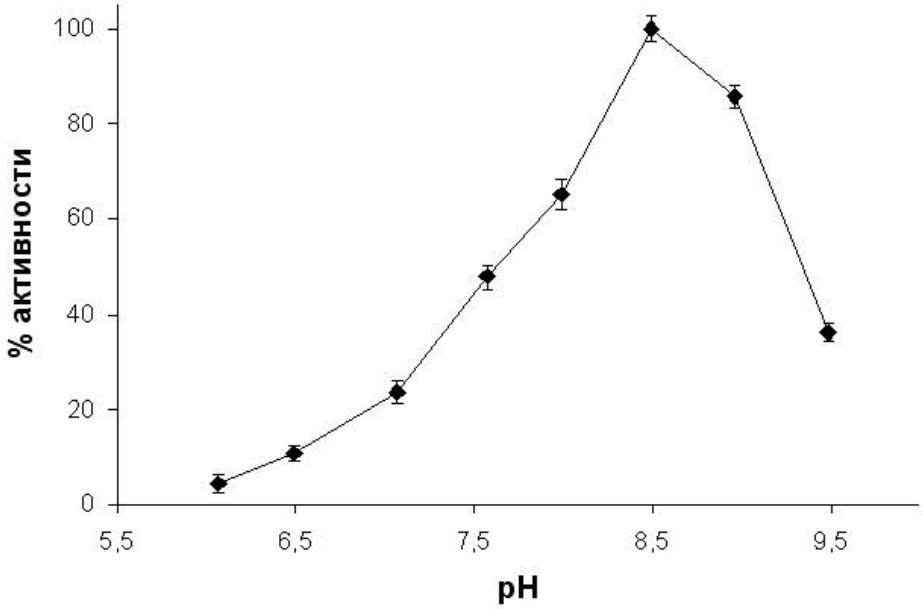


Рис. 1 - Оптимум pH окисления 2.6-диметоксифенола двухдоменной лакказой

Не окислялись в присутствии двухдоменной лакказы: феруловая кислота, 1.3-дигидроксибензол, тирозин, 3.5-диметокси-4-оксибензойная кислота. Окислялись в присутствии двухдоменной лакказы следующие соединения: 4-метоксифенол (рост максимума в спектре окисленного продукта при 340 нм), 3-метокси-4-оксибензойная кислота (рост максимумов в спектре окисленного продукта при 334 и 475 нм), 2.5-дигидроксибензойная кислота (рост максимума в спектре окисленного продукта при 266 нм), 1.2-дигидроксибензол (рост максимумов в спектре окисленного продукта при 330 и 480 нм). Невозможность двухдоменной лакказы катализировать окисление некоторых фенольных соединений, возможно, связана с их высоким редокс потенциалом. Лакказы не способны катализировать окисление субстратов, редокс потенциал которых превышает их собственный [19].

Термостабильность биокатализатора исследовали по скорости инактивации. Лакказы – термостабильные ферменты, однако при температурах более 70°C не активны. Поэтому инактивацию двухдоменной лакказы проводили при высоких температурах 60, 70 и 80°C, температурах при которых лакказы либо быстро инактивируются, либо уже не активны. Биокатализатор был активен в течение часа не только при 60 и 70°C, но и при 80°C (рис. 2).

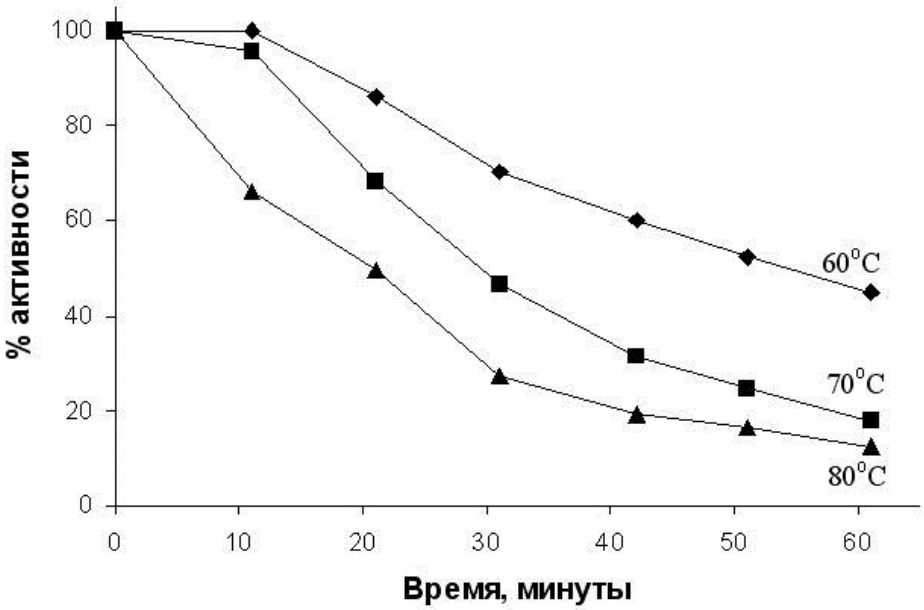


Рис. 2 – Инактивация двухдоменной лакказы при различных температурах

Таким образом, был получен новый биокатализатор, который можно применять в реакциях окисления фенолов при щелочных значения pH, а так же высоких температурах, вплоть до 80°C.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации ГК. 16.512.11.2173.

Список литературы

1. *Bollag J. M., Leonowicz A.* Comparative studies of extracellular fungal laccases. // Appl. Environ. Microbiol. – 1984, Vol. 48. – P. 849-854.
2. *McDougall G. J.* A comparison of proteins from the developing xylem of compression and non-compression wood of branches of sitka spruce (Picea sitchensis) reveals a differentially expressed laccase. // J. Exp. Bot. – 2000, Vol. 51. - P. 1395-1401.
3. *Suzuki T., Endo K., Ito M., Tsujibo H., Miyamoto K., Inamori Y.* A thermostable laccase from Streptomyces lavendulae REN-7: purification, characterization, nucleotide sequence, and expression. // Biosci. Biotechnol. Biochem. – 2003, Vol. 67. – P. 2167-2175.
4. *Solomon E. I., Sundaram U. M., Machonkin T. E.* Multicopper oxidases and oxygenases. // Chem. Rev. - 1996, Vol. 196. – P. 2563-2606.
5. *Bento I., Martins L. O., Gato Lopes G., Arménia Carrondo M., Lindley P. F.* Dioxygen reduction by multi-copper oxidases; a structural perspective. // Dalton Trans. 2005, Vol. 7 – P. 3507-3513.
6. *Nakamura K., Go N.* Function and molecular evolution of multicopper blue proteins. // Cell Mol. Life. Sci. - 2005, Vol. 62 – P. 2050–2066.
7. *Endo K., Hayashi Y., Hibi T., Hosono K., Beppu T., Ueda K.* Enzymological characterization of EpoA, a laccase-like phenol oxidase produced by Streptomyces griseus. // J. Biochem. – 2003, Vol. 133 – P. 671–677.
8. *Machczynski M.C., Vijgenboom E., Samyn B., Canters G. W.* Characterization of SLAC: A small laccase from Streptomyces coelicolor with unprecedented activity. Protein Sci 13: 2388-2397.
9. *Baldrian P.* Fungal laccases - occurrence and properties. // FEMS Microbiology Reviews – 2006, Vol. 30 – P. 215-242.
10. *Karamyshev A.V., Shleev S.C., Koroleva O.V., Yaropolov A.I., Sakharov I.Y.* Laccase-catalyzed synthesis of conducting polyaniline. // Enzyme Microb. Tech. - 2003, Vol. 33. – P. 556-564.
11. *Aktas N., Tanyolac A.* Reaction conditions for laccase catalyzed polymerization of catechol. // Bioresours Technol. - 2003, Vol. 87. – P. 209-214.
12. *Kobayashi S., Uyama H., Ikeda R.* Artificial urushi. // Chemistry - 2001, Vol. 7, № 22. – P. 4754-4760.
13. Патент WO2004082629 A2 2004.
14. *Kurisawa M., Chung J. E., Uyama H., Kobayashi S.* Laccase-catalyzed synthesis and antioxidant property of poly(catechin). // Macromol. Biosci. - 2003, Vol. 3. – P. 758-764.
15. *Polak J., Jarosz-Wilkolazka A.* Fungal laccases as green catalysts for dyesynthesis. // Process Biochemistry - 2012, Vol. 47, № 9. – P. 1295–1307.
16. Всероссийская коллекция микроорганизмов URL: http://www.vkm.ru/ (дата обращения 14.09.2012).
17. Streptomyces lividans TK24 genome project URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/1888?project_id=55825 (дата обращения 14.09.2012).
18. copper oxidase [Streptomyces lividans TK24] NCBI Reference Sequence: ZP_06527100.1 URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/protein/ZP_06527100.1 (дата обращения 14.09.2012).
19. Xu F. Effects of redox potential and hydroxide inhibition on the pH activity profile of fungal laccases. // J. Biol. Chem. – 1997, Vol. 272. – P. 924-928.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.02.13

С.Н. Алехин к.т.н.

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
механико-радиотехнический факультет,
кафедра Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения,
Шахты, alex_cn@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В БАРАБАНЕ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОТЖИМЕ

В статье рассматриваются вопросы определения величины продольного смещения текстильных изделий в барабане при отжиме. Установлены зависимости смещения от конструктивных параметров стирального барабана. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании динамики стиральных машин при отжиме.

Ключевые слова: *динамика стиральных машин, угловые колебания, динамическая неуравновешенность, продольное смещение изделий.*

Создание эффективных методов и средств виброзащиты является одной из важнейших технико-экономических и социальных задач, стоящих перед разработчиками современных стиральных машин.

Вопросы динамики стиральных машин барабанного типа, методов и технических средств защиты от вибрации рассмотрены в ряде научных работ отечественных и зарубежных авторов (Малыхин В.И., Набережных А.И., Рябинький Л.М., Кузнецов С.А., Ройзман В.П., Малыгин А.В., Spelta C., Lee Jun Young, Matsushima H., Nygards T. и др.).

Однако, анализ публикаций показал, что недостаточно полно исследованы вопросы влияния динамической неуравновешенности стирального барабана на величину и характер переменных воздействий, обусловливающих не только линейные, но и угловые колебания подвесной части стиральных машин при отжиме.

Одним из основных факторов, определяющих угловые колебания подвесной части при динамической неуравновешенности стирального барабана, является величина продольного смещения l_x центра масс текстильных изделий относительно центральной поперечной плоскости подвесной части, то есть плечо приложения центробежной силы $F_ц$, возникающей от неуравновешенных масс изделий.

В настоящее время вопрос определения величины смещения l_x является малоизученным, так как представляет собой сложную задачу, связанную со случайным распределением изделий в барабане при отжиме, что значительно усложняет математическое описание динамической неуравновешенности барабана.

С учётом особенностей процессов распределения изделий в стиральном барабане преобладает в основном такая динамическая неуравновешенность, при которой центральная ось инерции пересекается с осью вращения барабана (рис.1).

С точки зрения влияния динамической неуравновешенности барабана на виброактивность стиральных машин наиболее актуальным является исследование крайнего расположения изделий по длине барабана, которая характеризуется преобладающим смещением изделий к одной из торцевых стенок барабана (рис.1).

Тогда, расстояние l_x от центральной поперечной плоскости O_1YZ до линии действия центробежной силы $F_ц$ может быть определено как координата по оси O_1X центра тяжести фигуры, состоящей из двух трапеций $A_1B_1C_1D_1$ и $A_2B_2C_2D_2$, по известной формуле [1]:

$$l_x = \frac{S_1 \cdot x_{Còð1} + S_2 \cdot x_{Còð2}}{S_1 + S_2}, \qquad (1)$$

где S_1 и S_2 – площади трапеций, соответственно, $A_1B_1C_1D_1$ и $A_2B_2C_2D_2$; $x_{Cтр1}$ и $x_{Cтр2}$ – координаты центров тяжести, соответственно, $C_{тр1}$ и $C_{тр1}$ трапеций $A_1B_1C_1D_1$ и $A_2B_2C_2D_2$ по оси O_1X.

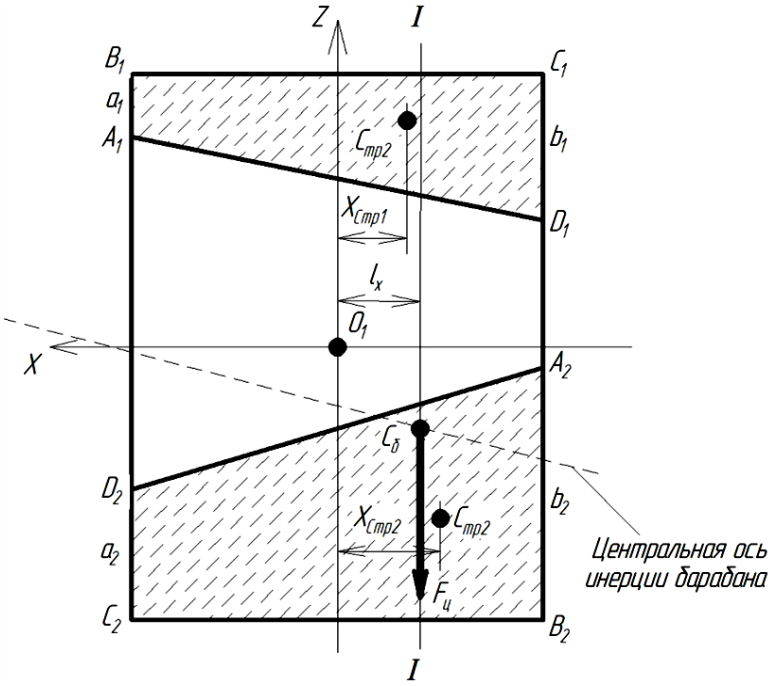


Рис. 1- Схема распределения изделий при динамической неуравновешенности стирального барабана

Здесь имеем:

$$x_{Còð1} = \frac{L_Á(b_1 - a_1)}{3b_1}, \qquad x_{Còð2} = \frac{L_Á(b_2 - a_2)}{3b_2}; \qquad (2)$$

$$S_1 = \frac{(a_1 + b_1)}{2} L_Á, \qquad S_2 = \frac{(a_2 + b_2)}{2} L_Á. \qquad (3)$$

Откуда, после преобразования формула (1) примет вид:

$$l_x = L_Á \frac{(b_1^2 - a_1^2)b_2 + (b_2^2 - a_2^2)b_1}{2b_1b_2(a_1 + b_1 + a_2 + b_2)}, \qquad (4)$$

Очевидно, что для случая крайнего расположения изделий в барабане при динамической неуравновешенности значение l_x должно быть максимальным $l_x^{\max}$, а параметры b и a, характеризующие неравномерность распределения изделий по длине барабана, будут соответствовать условиям: $b \to \max$ и $a \to \min$.

Рассмотрим, как изменяются значения l_x в зависимости от диаметра барабана $D_Б$ и коэффициента длины барабана k_L при условии постоянства массы $m_б$=const и объёма $V_б$=const отжимаемых изделий.

Для определения параметров a и b необходимо знать объём $V_в$ внутреннего свободного пространства, образованного изделиями при отжиме, который имеет вид наклонного усечённого конуса (рис.1). Так как основаниями данного конуса являются круги, а его высота не совпадает с осью конуса, соединяющей центры оснований, то данный усечённый

наклонный конус является круговым, в отличие от круглого, в котором высота и ось совпадают.

Объём $V_в$ такого конуса вычисляется по следующей формуле:

$$V_{\hat{a}} = \frac{1}{12}\pi L_{Á}\left(d_1^2 + d_2^2 + d_1 d_2\right), \tag{5}$$

где d_1 и d_2 – диаметры оснований усечённого конуса, соответственного, верхнего и нижнего (в данном случае, правого и левого).

С учётом $d_1=D_Б-(b_1+b_2)$; $d_2=D_Б-(a_1+a_2)$ формула (5) примет вид:

$$V_{\hat{a}} = \frac{1}{12}\pi L_{Á}\left\{\left[D_{Á}-\left(b_1+b_2\right)\right]^2 + \left[D_{Á}-\left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right)\right]^2 + \left[D_{Á}-\left(b_1+b_2\right)\right]\left[D_{Á}-\left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right)\right]\right\}, \tag{6}$$

или

$$V_{\hat{a}} = \frac{\pi k_L D_{Á}}{12}\left\{3D_{Á}\left[D_{Á}-\left(b_1+b_2\right)-\left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right)\right] + \left(b_1+b_2\right)^2 + \left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right)^2 + \left(b_1+b_2\right)\left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right)\right\}. \tag{7}$$

Так как $V_в=V_Б-V_б$, где $V_Б=\frac{\pi D_{Á}^2}{4}L_{Á} = \frac{\pi D_{Á}^3 k_L}{4}$ – объём барабана; $V_б$ – объём, занимаемый отжимаемыми изделиями в барабане, то будем иметь:

$$3D_{Á}^2 - \frac{12V_{á}}{\pi k_L D_{Á}} = 3D_{Á}\left(D_{Á}-b_1-b_2-\grave{a}_1-\grave{a}_2\right) + \left(b_1+b_2\right)^2 + \left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right)^2 + \left(b_1+b_2\right)\left(\grave{a}_1+\grave{a}_2\right). \tag{8}$$

Для обеспечения максимальной неравномерности и, соответственно, максимальной длины $l_x^{\max}$ необходимо выполнение условий: $b_1=b_2=b\to\max$ и $a_1=a_2=a\to\min$.

Тогда выражение (8) примет вид:

$$\frac{3V_{á}}{\pi k_L D_{Á}} = 1{,}5D_{Á}\left(b_{\max}+\grave{a}_{\min}\right) - \left(b_{\max}^2 + a_{\min}^2 + a_{\min}b_{\max}\right), \tag{9}$$

а формула (4):

$$l_x^{\max} = 0{,}5L_{Á}\left(1-\frac{a_{\min}}{b_{\max}}\right), \tag{10}$$

или для средних значений:

$$l_x^{cp} = 0{,}25L_{Á}\left(1-\frac{a_{\min}}{b_{\max}}\right). \tag{11}$$

Приняв ограничения 0,01м$<b_{max}\le$0,5D$_Б$ и $b_{max}>a_{min}\ge$0,01м, из формулы (9) находим параметры $b_{\max}$ и $a_{\min}$. Затем по формулам (10) и (11) определяем значения $l_x^{\max}$ и l_x^{cp}.

На рис.2 показаны графики зависимости смещения l_x^{cp} в период отжима $\tau_{от}$ при различных значениях диаметра $D_Б$ и коэффициента k_L, постоянной массе $m_{бо}$=2 кг и объёме изделий $V_б$=const, частоте вращения барабана $\omega_Б$=94,2 рад/с.

На рис.3 приведён график поверхности величины смещения l_x^{cp} в момент отжима $\tau_{от}$=5,638 с при различных значениях диаметра $D_Б$ и коэффициента k_L, постоянной массе $m_{бо}$ и объёме изделий $V_б$=const

Анализ полученных данных показал, что с ростом значений диаметра барабана $D_Б$ и коэффициента длины барабана k_L увеличиваются значения исследуемого параметра – смещения l_x^{cp}. Причём, коэффициент k_L наиболее существенно влияет на величину l_x^{cp}.

Показано, что формирование продольного смещения изделий в барабане в основном завершается в период разгона барабана.

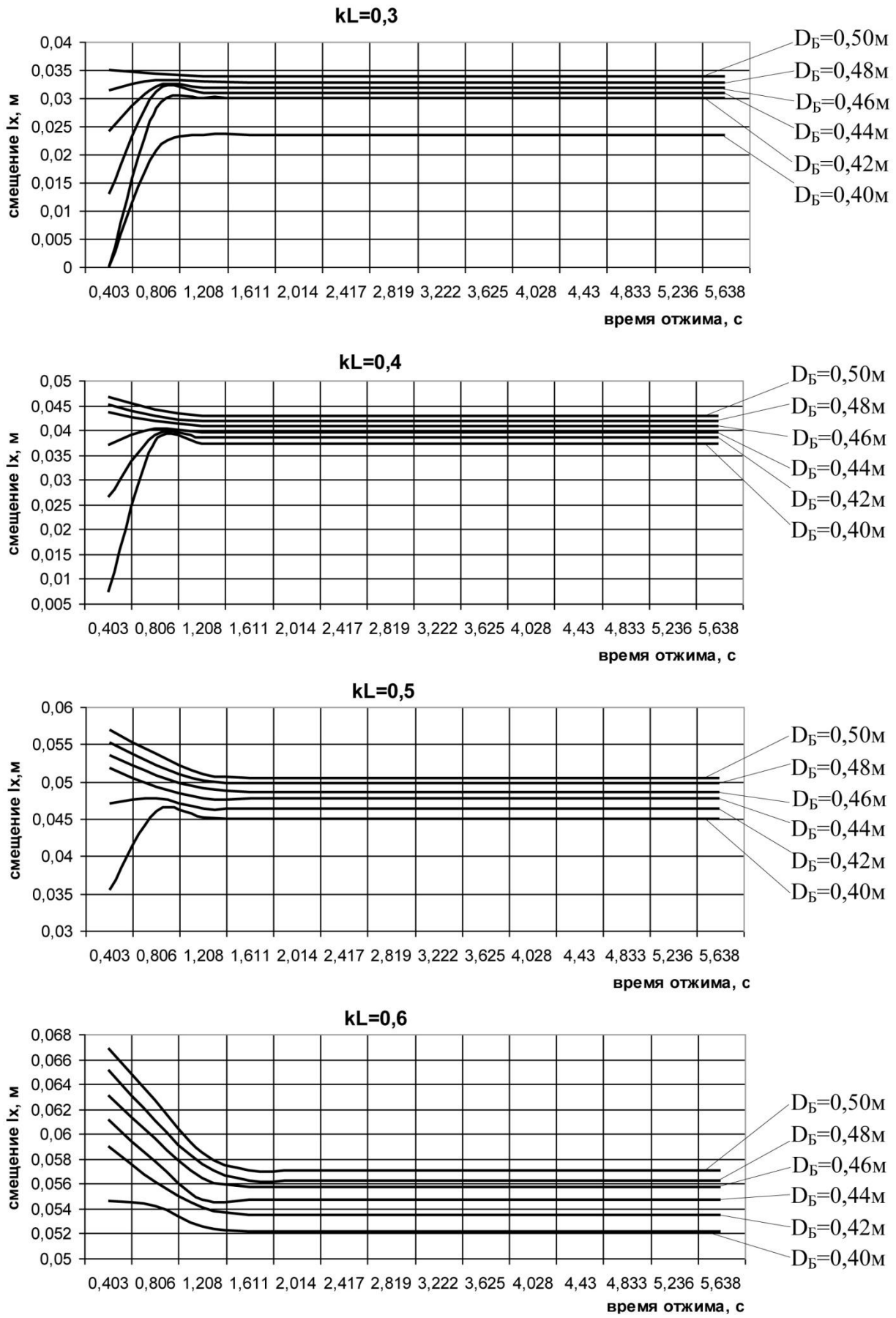


Рис. 2- Графики зависимости смещения l_x^{cp} в период отжима при различных значениях диаметра $D_Б$ и коэффициента k_L

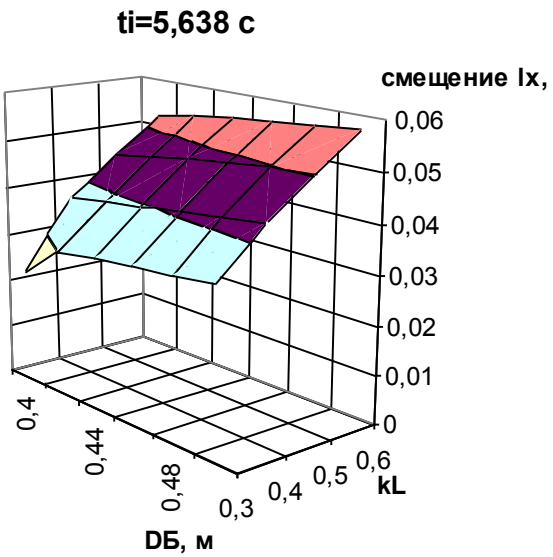


Рис. 3- График поверхности величины смещения l_x^{cp} в момент отжима $\tau_{от}$=5,638 с при различных значениях диаметра $D_Б$ и коэффициента k_L

Установлено, что при коэффициенте длины барабана k_L=0,3, что соответствует при заданной массе изделий $m_{бо}$=2 кг и диапазоне значений диаметра барабана $D_Б$=0,5…0,4 м коэффициенту загрузки $k_з$=0,33…0,64, в период разгона происходит рост значений смещения l_x^{cp}. А при k_L=0,6, что соответствует коэффициенту загрузки $k_з$=0,16…0,32, в период разгона происходит снижение значений смещения l_x^{cp}. Значения коэффициента k_L=0,3 и k_L=0,4 являются в этом случае промежуточными. Такое поведение величины смещения l_x^{cp} объясняется отсутствием свободного пространства в объёме отжимаемых изделий в начальный период отжима при значительных величинах $k_з$ и, наоборот, наличием уже в начальный период отжима свободного пространства при малых значениях $k_з$.

Соотношение $\frac{l_x^{\max}}{L_Á}$ во всем диапазоне $D_Б$ изменялось в течение периода отжима от 0 до 0,476. В установившемся режиме отжима соотношение составило $\frac{l_x^{\max}}{L_Á}$=(0,434…0,476). Причём, наибольшие значения соответствуют максимальным значениям коэффициента загрузки барабана $k_з$=0,6…0,64.

Таким образом, показано, что величина продольного смещения l_x изделий в барабане при отжиме определяется геометрическими параметрами стирального барабана и коэффициентом загрузки. Следовательно, выбирая соответствующие геометрические параметры барабана и величину его загрузки, можно обеспечить более низкие значения смещения l_x, являющегося одним из основных компонент момента возмущающих сил, действующего на подвесную часть стиральных машин при отжиме.

Список литературы

1. *Яблонский А.А.* Курс теоретической механики. Статика. Кинематика. Динамика / Яблонский А.А., Никифорова В.М. – М.: Кнорус, 2011. – 608 с.

05.13.01

В.В. Андреев д.т.н., К.Г. Петров, Н.П. Тарасова, В.А. Чирков к.т.н.

Институт ядерной энергетики и технической физики НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
г. Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ГУМАНИТАРИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В работе рассматриваются проблемы существующего технического образования и обсуждаются его основные недостатки. Предлагаются подходы к их устранению в направлении интеллектуализации образования. Приводится пример использования элементов системного подхода в практике обучения.

Ключевые слова: *гуманитаризация, вербализм, предметность, мышление, категория системы.*

В современном техническом образовании отсутствует деятельностная (неформальная) гуманитарная составляющая образовательного процесса. Словесное (формальное) преподавание гуманитарных дисциплин, без реального, деятельностного их использования в практике обучения бессмысленно и нецелесообразно. Этот момент кардинально усугубляет основные существующие недостатки настоящего образовательного процесса, а именно **вербализм и предметность**.

Одним из основных требований современного образования является деятельностная реализация в практике обучения основных мыследеятельностных процессов: мышления (чистого), коммуникации, мыследействования и рефлексии. Для понимания этого необходимо использовать в образовательной практике категории мышления: содержание и форма, единое и многое, отдельное и простое, функция – материал и др.

Использование категорий позволит существенно сократить бессмысленную информационную составляющую учебного процесса и усилить знаньевую (понятийную) и мыслительную (процессуальную) составляющие. Это приведёт к необходимости использования процедур конструирования (получения) знания и способов употребления (границы применимости) знания.

Поэтому важнейшей задачей является устранение этих недостатков и преобразование системы образования в соответствии с потребностями современного общества. Одним из выходов из этой ситуации является использование **элементов системного подхода** в учебном процессе.

Процедура **системного подхода** требует выделения и фиксации в процессе обучения как **минимум** двух составляющих: **процессуальной** и **структурной**.

Любое предметное знание надо получать через схему знания, раскладывая знание на два пространства:

1) каков объект;

2) действия, выполняемые с объектом, в результате которых получается знаковая форма.

В качестве примера использования нормы «объективное содержание – знаковая форма» можно рассмотреть вывод одного из членов уравнения переноса каких-либо частиц (например, нейтронов), представляющей собой утечку частиц из элементарного объема.

Согласно определению, дивергенция векторной функции представляет собой отношение разности между количеством вылетевших из объёма и влетевших в объём частиц при стремлении этого объёма к нулю.

При записи в сферической геометрии различных геометриях выражение $\vec{\Omega} \cdot gradF\left(\vec{r},\vec{\Omega}\right) \cdot dV$ имеет следующий вид:

В сферической геометрии: $\mu * \frac{\partial F(r,\mu)}{\partial r} + \frac{1-\mu^2}{r} * \frac{\partial F(r,\mu)}{\partial \mu}$.

При этом, как правило, это выражения получают формальным путём, а необходимый **как интеллектуальное упражнение, как тренинг**, содержательный вывод с использованием схемы знания отсутствует. Рассмотрим содержательный вывод выражения $\vec{\Omega} \cdot gradF\left(\vec{r},\vec{\Omega}\right) \cdot dV$ в сферических координатах:

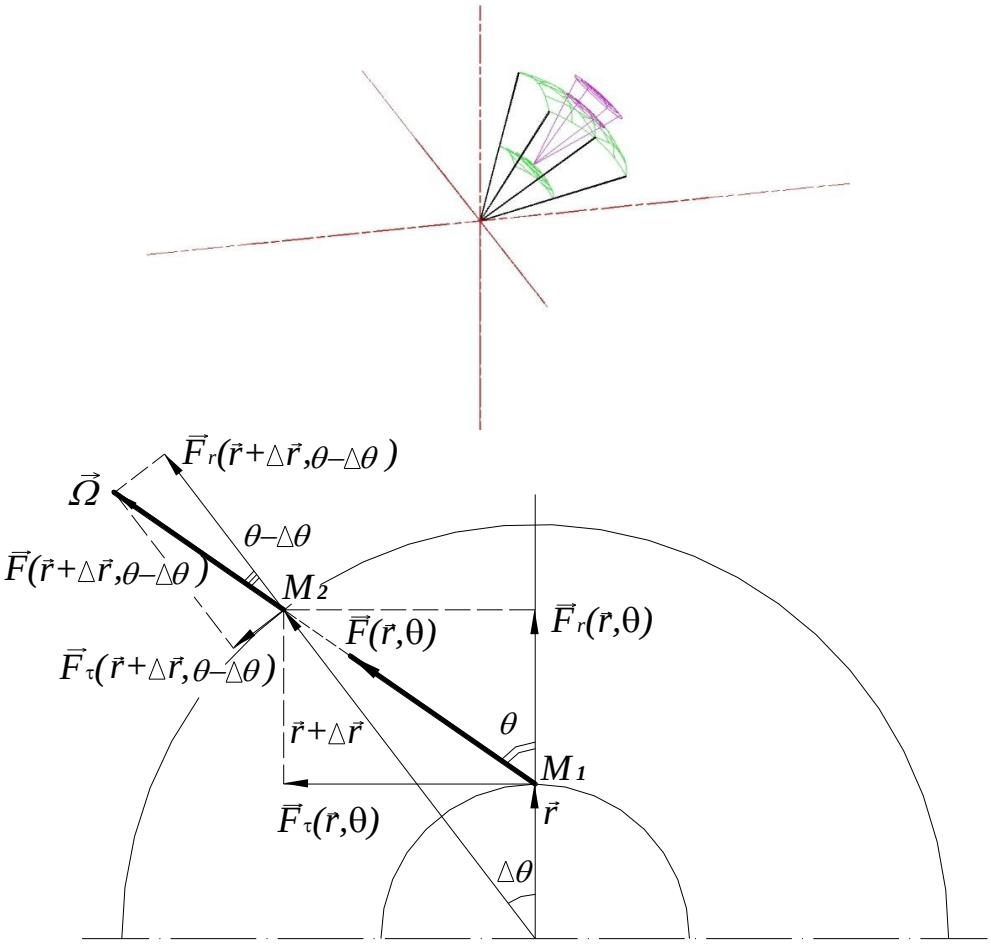


Рис. 1- К вычислению утечки в сферических координатах

В точке М1 поток частиц входит в направлении $\vec{\Omega}$. Значение модуля вектора потока в этой точке равно F(r,θ). В точке М2 частицы выходят, модуль вектора потока равен в этой точке F(r+Δr, θ-Δ θ).

Движение частиц в направлении $\vec{\Omega}$ раскладываем на движение в радиальном (Fr) и тангенциальном (Fτ) направлениях. Рассматривая сферу, выделим сечение, проходящее через ее центр.

Все вышеуказанные обозначения согласно рисунку 1.

Рассмотрим баланс частиц:

Количество частиц, вошедших в точке М1, под углом θ соответствует сумме количеств частиц, вошедших в радиальном и тангенциальном направлениях. Количество частиц, вышедших в точке М2 под углом θ-Δ θ также соответствует сумме количеств частиц, вышедших в радиальном и тангенциальном направлениях. Далее следует взять разность этих количеств и разделить её на расстояние, пройденное частицами между точкой влета и точной вылета. Группируя слагаемые и рассматривая их отдельно друг от друга, определяем две

составляющие – зависимость по радиусу r и по углу θ. Покажем, как эти рассуждения определяют знаковую форму:

Введем обозначение μ=cos θ

$$\mu * \frac{\partial F(r,\mu)}{\partial r} + \frac{1-\mu^2}{r} * \frac{\partial F(r,\mu)}{\partial \mu}$$

Процедура вывода проделана для одной точки в сферическом объеме. Для любой другой точки, или для сферического объема полученное выражение будет справедливо, а процедура его получения будет аналогична. Таким образом, реконструирована целостность мышления за счет восстановления мыследеятельностных процессов, обозначенных на рисунке 2 стрелками.

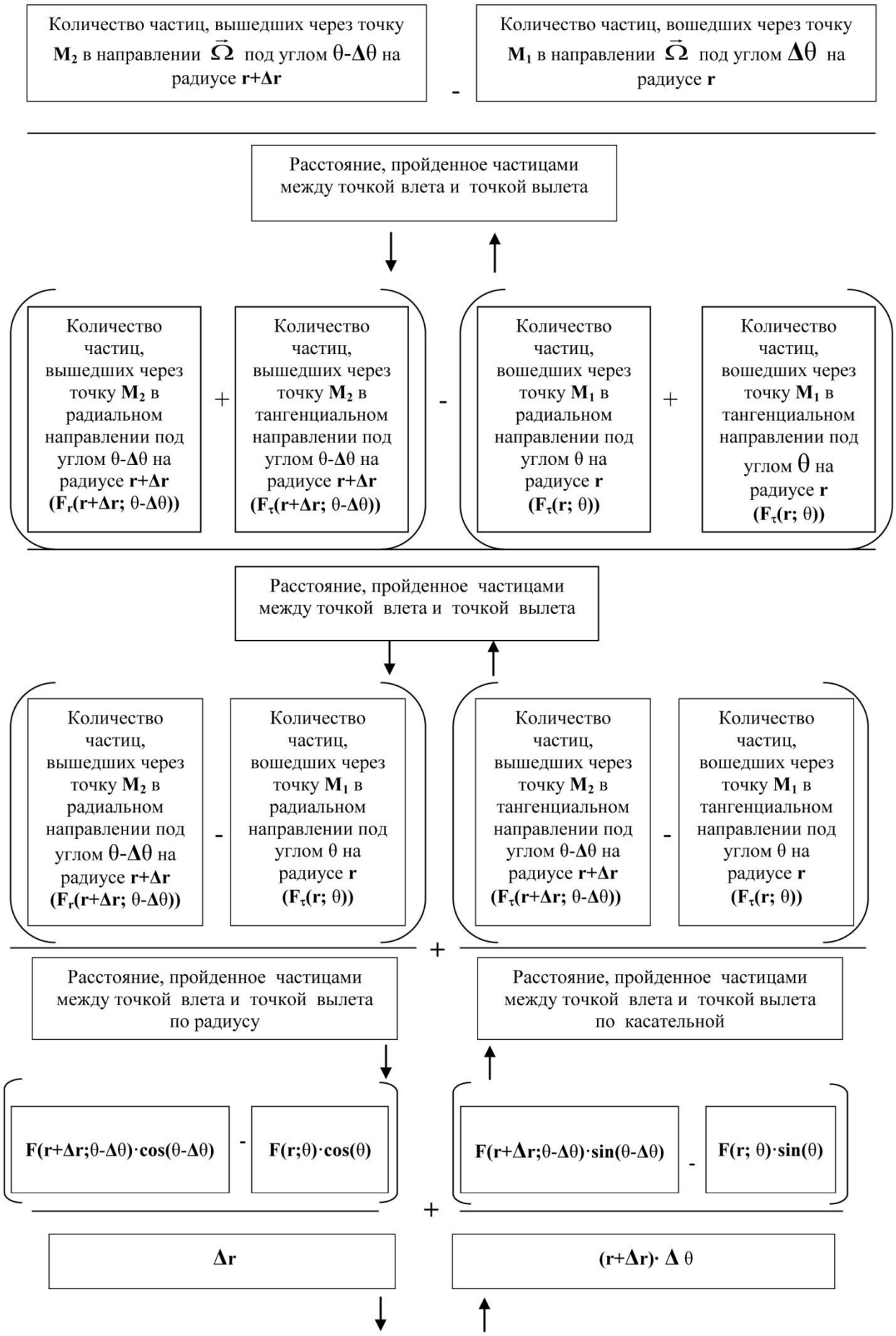


Рис. 2- Процессуальная составляющая получения знаковой формы

Конечно, рассмотренный нами пример является одним из самых простейших случаев, однако и его вполне достаточно для демонстрации основной идеи рассматривавшегося нами подхода к изложению материала.

В заключение можно отметить, что в живой практике обучения, учебниках, учебно-методических пособиях, описаниях лабораторных работ целесообразно вычленять нормы мыслительной деятельности, которые использованы при конструировании данного предметного содержания.

По-видимому, главной целью образования и должно стать освоение норм мыслительной деятельности и их межпредметная трансляция.

Таким образом, можно формировать более высокий уровень подготовки специалистов, поскольку студент будет работать по нормам с реально осуществляющимися процессами деятельности, мышления, понимания, рефлексии, коммуникации, которые необходимо вычленить из соответствующих предметов учебного плана.

Список литературы

1. *Щедровицкий Г.П.* Избранные труды. — М., 1995. — 759 с.

05.22.10

И.А. Анисимов к.т.н., Л.Н. Буракова, В.Ф. Буторин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра эксплуатация автомобильного транспорта,
Тюмень, burakova.1992@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ

В работе рассматривается вопрос влияния факторов на расход топлива при работе систем кондиционирования салона автомобиля.

Ключевые слова: *расход топлива, кондиционер, холостой ход, цвет автомобиля, мощность двигателя.*

Одной из наиболее актуальных проблем в области эксплуатации автотранспорта является экономия топлива. В связи с ограниченными запасами природных источников энергии неуклонно происходит рост цен на все виды топлива и в результате повышается интерес к его экономии.

Одновременно с экономичностью, разработчиков при модернизации легковых автомобилей интересует показатель безопасности движения транспортных средств. С учетом постоянно возрастающей интенсивности движения данный фактор имеет решающее значение. Безопасность движения автомобиля в значительной степени зависит от состояния микроклимата в салоне автомобиля, который обеспечивается эффективностью и уровнем автоматизации систем кондиционирования.

Учет внешних факторов, влияющих на показатели обеспечения комфортных условий климатических установок, наиболее актуален при их проектировании. Современные автомобили достаточно экономичны, но в реальных условиях эксплуатации, потребление топлива может быть больше, чем указано в их технических характеристиках.

На процесс формирования расхода топлива оказывают влияние следующие режимы работы автомобиля – разгон, установившийся режим, торможение и холостой ход.

Режим холостого хода является безнагрузочным, при нем не выполняется работа, т.е. он является балластным. Однако может быть исключение, когда на холостом ходу в работу включается технологическое и вспомогательное оборудование, которое забирает часть энергии вырабатываемой двигателем. Время, в течение которого двигатель работает на режиме холостого хода доходит до 25%. По данным приведенных в таблице [1] ранее проведенных исследований процентное распределение времени и расхода топлива между холостым ходом, ускорением, постоянной скоростью и замедлением следующее.

Таблица - Продолжительность в транспортном потоке режимов работы автомобиля и их влияние на расход топлива

Режим работы	Продолжительность работы, %	Расход топлива, %
Холостой ход	17	15..16
Ускорение	42	42..44
Постоянная скорость	16	32..34
Замедление	25	7..8

Отсюда можно сделать вывод, что автомобили простаивают на режиме холостого хода до 17% и расходуют при этом до 15-16% топлива.

С целью определения более точных значений авторы работы И.А.Анисимов и Е.А. Черменина, провели эксперимент по изучению характеристик транспортного потока в г. Тюмени, который показал, что простой по причинам уличного движения составляет 20%

времени, средняя скорость движения – 32 км/ч., среднее время задержки – 28 с.[2] Данные результаты по продолжительности работы автомобиля в режиме холостого хода в условиях городского цикла движения, явились основой для изучения влияния работы кондиционера на расход топлива.

В условиях интенсивного движения, где время работы двигателя в режиме холостого хода достигает значительных значений, кондиционер отбирает часть мощности двигателя на работу компрессора. И чем меньше мощность двигателя, тем большая доля отбора мощности идет на работу кондиционера. Рассматривая данную взаимосвязь, можно определить первый фактор, влияющий на расход топлива при работе кондиционера.

В ходе изучения литературных источников по данному вопросу был установлен еще один критерий определяющий влияние на увеличение расхода топлива.

По мнению американских ученых[3], температура в салоне автомобиля напрямую зависит от цвета автомобиля, так как отражательная способность непрозрачных элементов кузова у машин разной окраски отличается и поэтому температура прогрева салона тоже будет разной.

В ходе эксперимента были исследованы солнечные спектральные характеристики более 180 автомобилей с покрытием различных цветов и отражательной способностью непрозрачных элементов кузова и представлена в шкале от 0 до 1. Было установлено, что у чёрной машины она равна 0,05, а у серебристой – 0,58. Данные результаты были взяты за основу при подготовке и проведении экспериментальной части работы.

Таким образом, были выделены основные факторы, влияющие на расход топлива при работе климатической системы это температура окружающей среды, цвет автомобиля и мощность двигателя.

Испытания проводились в июле 2012г. в г. Тюмени. В эксперименте участвовало 12 автомобилей Ford Focus с автоматической коробкой передач и климатической системой охлаждения салона тип кузова хетчбэк на холостом ходу. Транспортные средства находились в исправном состоянии.

Эксперимент проводился в 13часов, так как это время наибольшей солнечной радиации. Диапазон температуры окружающей среды составлял от $+20^0$ до $+40^0$ С.

Для контроля за расходом топлива и прогревом двигателя автомобиля использовались адаптер «USB-ECU K-Line+CAN» и программа "Трип-компьютер" предназначенная для мониторинга параметров работы двигателя (температуры охлаждающей жидкости, мгновенного, среднего и абсолютного расхода топлива и др.) - всего более 30 различных параметров.

Результаты эксперимента представлены на рис.1 и рис.2. На графиках прослеживается зависимость влияния цвета автомобиля с мощностью двигателя 105 л.с. на расход топлива при работе кондиционера в разных температурных условиях окружающей среды.

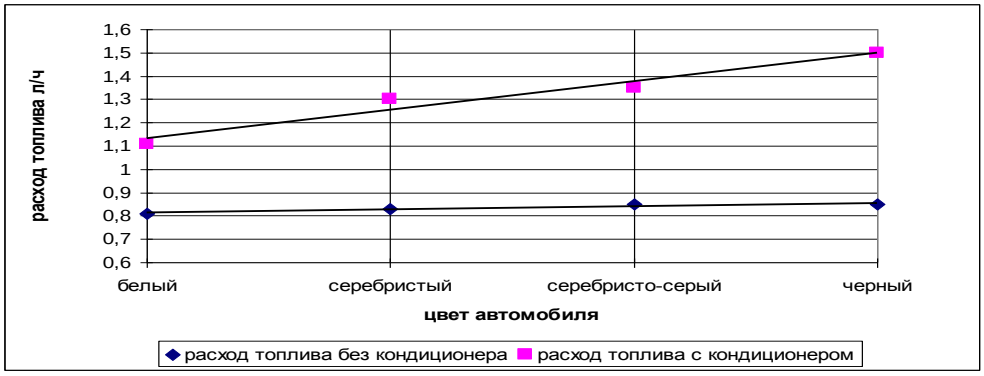


Рис. 1 - Влияние цвета автомобиля на расход топлива при работе кондиционера при температуре $+40^0$ С

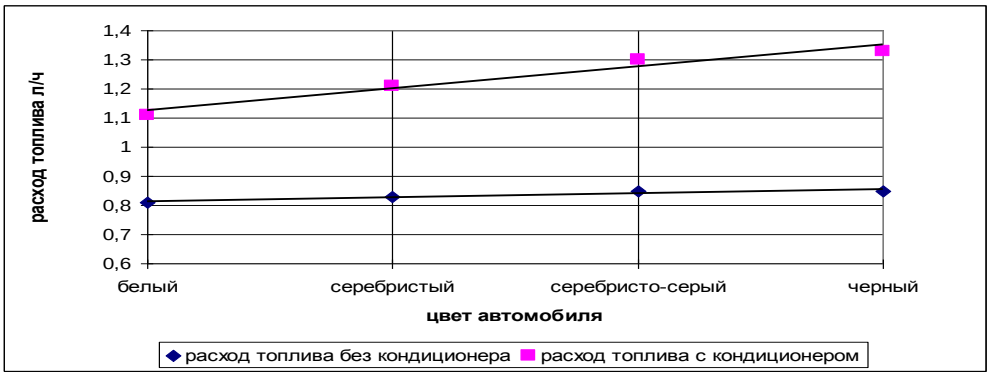


Рис. 2 - Влияние цвета автомобиля на расход топлива при работе кондиционера при температуре +29 ^{0} С

Как видно из результатов, белый автомобиль расходует меньше топлива, чем черный, так как коэффициент солнечного отражения крыши составляет: в черном 0,05 и белом 0,9.[3]

Так же была установлена зависимость расхода топлива при работе кондиционера от мощности двигателя и температуры окружающей среды. На рис. 3, рис. 4 и рис. 5 представлены результаты эксперимента серебристого автомобиля при различных температурах окружающего воздуха.

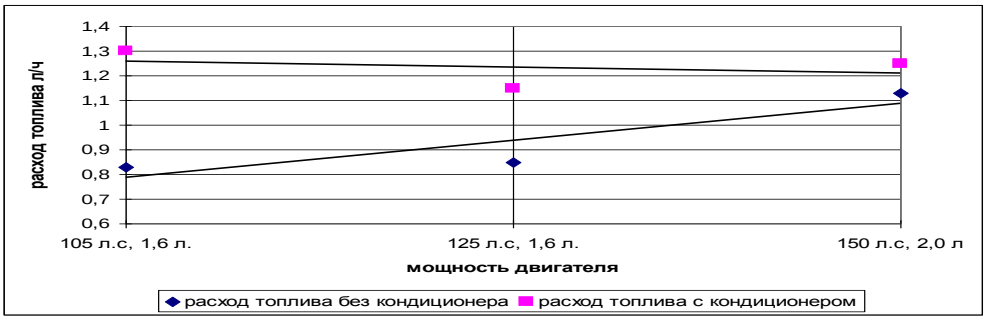


Рис. 3 - Влияние мощности серебристого автомобиля на расход топлива при работе кондиционера при температуре +40 ^{0} С

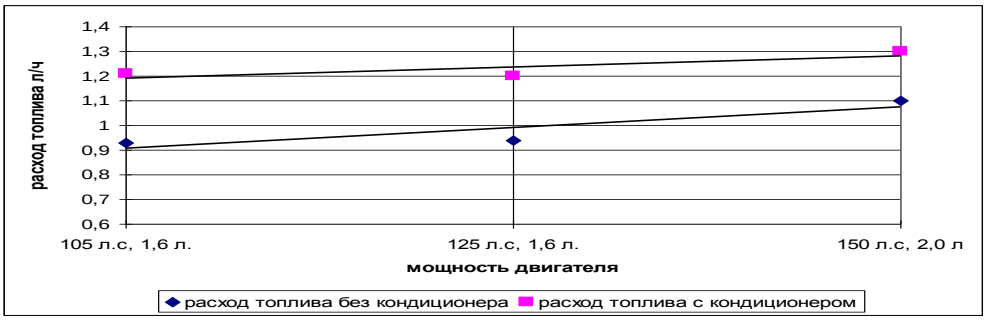


Рис. 4 - Влияние мощности серебристого автомобиля на расход топлива при работе кондиционера при температуре +29 ^{0} С

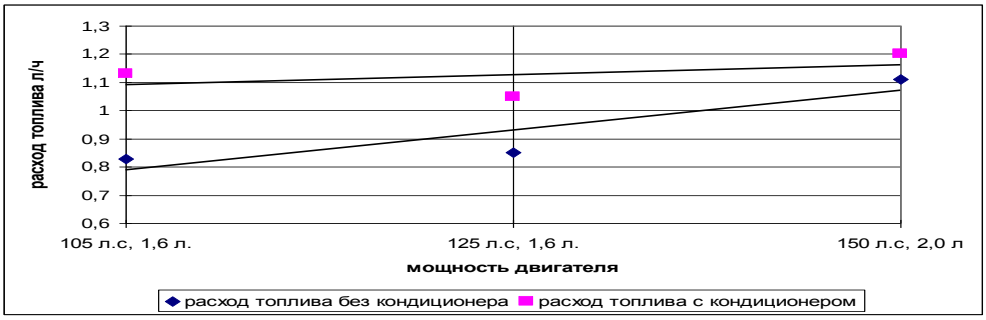


Рис. 5 - Влияние мощности серебристого автомобиля на расход топлива при работе кондиционера при температуре +20 ^{0} С

Как видно из рисунков при увеличении мощности двигателя разница расхода топлива с включенным и выключенным кондиционером смещается в сторону его уменьшения.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что при нормировании расхода топлива во время работы кондиционера или климатической установки следует учитывать температуру воздуха, цвет автомобиля и мощность двигателя.

В действующих нормативных документах дополнительный расход топлива, связанный с необходимостью обеспечения оптимальных тепловых условий в салоне автомобиля при простоях с повышенной температурой внешней среды, устанавливается нормой из расчета, что один час простоя соответствует до 10% от базовой нормы. [4]

Вследствие этого повышающий коэффициент будет иметь разные значения в зависимости от исследуемых в работе факторов.

Список литературы

1. *Гаврилов А.А.* Моделирование дорожного движения. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.
2. *Черменина Е.А.* Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии – нефтегазовому региону», Тюмень, ТюмГНГУ, 2010, т. 2, с. 170-172
3. Cool ‑ Colored Cars to Reduce Air ‑ Conditioning Energy Use and Reduce CO2 Emission - Lawrence Berkeley National Laboratory One Cyclotron Road Berkeley.2011. 102 pp
4. www.consultant.ru Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» Приложение к распоряжению Минтранса России от 14.03.2008 N АМ-23-р

05.23.05

М.И. Баженов, А.И. Харченко

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, bajenov.m@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОВ С ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ

Исследование влияние тонкодисперсного минерального вяжущего Микродур на свойства композионного вяжущего. Показано, что тонкодисперсная добавка в цементных системах выполняет роль центров кристаллизации. Получено значительное увеличение прочности цементного камня при введение Микродура.

Ключевые слова: *тонкодисперсная минеральная добавка, портландцемент, Микродур.*

За последние годы в технологии вяжущих и бетонов существенно возрос интерес к особо тонкодисперсным минеральным порошкам, которые, в основном, используются в качестве активных минеральных добавок или инертных наполнителей к цементам [1]. Эффективность их использования обусловлена несколькими причинами. Прежде всего, это возможность обеспечить более оптимальный гранулометрический состав цементного вяжущего, путем увеличения доли частиц с размерами от 0,01 до 4,0 – 5,0 мкм, которая в обычном портландцементе составляет не более 30 – 35% с преобладающим количеством частиц размером от 1,0 до 5,0 мкм.

Присутствие таких тонкодисперсных частиц в цементе обеспечивает его более плотную упаковку, повышает связность цементного теста и стойкость к расслаиванию, а в сочетании с супер- или гиперпластификатором увеличивает текучесть смеси. Тонкодисперсные добавки, обладающие гидравлической активностью и развитой удельной поверхностью, кроме того, ускоряют твердение и повышают прочность цементного камня и бетона [2, 3].

Около пятнадцати лет назад на строительном рынке Германии появилось особо тонкодисперсное минеральное вяжущее (ОТДВ) Микродур®, предназначенное для приготовления инъекционных суспензий, которые, благодаря оптимально подобранному фракционному составу, обладают высокой пенетрационной способностью.

В работе использовались портландцемент М 500 Д0, минералогический состав которого приведен в табл. 1, и ОТДВ Микродур марки R-X с удельной поверхностью около 22000 см^2/г и следующим гранулометрическим составом: содержание частиц размером менее 2 μм – 45%, менее 4 μм – 80%, менее 6 μм – 97%.

В данном случае тонкодисперсные частицы ОТДВ Микродур будут выступать в качестве центров направленной кристаллизации, вокруг которых будут образовываться новые структуры, которые приведут к ускорению гидратационных процессов, а, следовательно, к получению матрицы вяжущего с улучшенными физико-механическими свойствами.

Состав портландцементного клинкера

Таблица 1

Компонент	MgO	SO_3	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Содержание по массе, %	0,64	2,46	61,5	13,59	6,08	16,54

ОТДВ Микродур вводилось в состав цемента в количестве 2%, 5% и 8%. Определение нормальной густоты и сроков схватывания полученных цементов проводилось по ГОСТу 310.1-76 и 310.3-76. Прочность при сжатии определялась на образцах–кубиках 20х20х20 мм,

изготовленных из теста нормальной густоты, в возрасте 3, 7 и 28 суток. Хранение образцов осуществлялось по ГОСТу 310.4-81. Полученные результаты приведены в табл. 2 и на рис.1.

Физико-механические свойства цементов с тонкодисперсной добавкой

Таблица 2

№	Содержание ОТДВ, %	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, час-мин		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте		
			начало	конец	3сут.	7сут.	28сут.
1	-	26,25	2-55	3-35	57,0	68,0	76,6
2	2	26,5	2-35	3-35	52,8	65,0	93,3
3	5	25,0	2-30	3-15	56,9	71,8	93,4
4	8	25,5	2-25	3-05	58,4	70,5	107,0

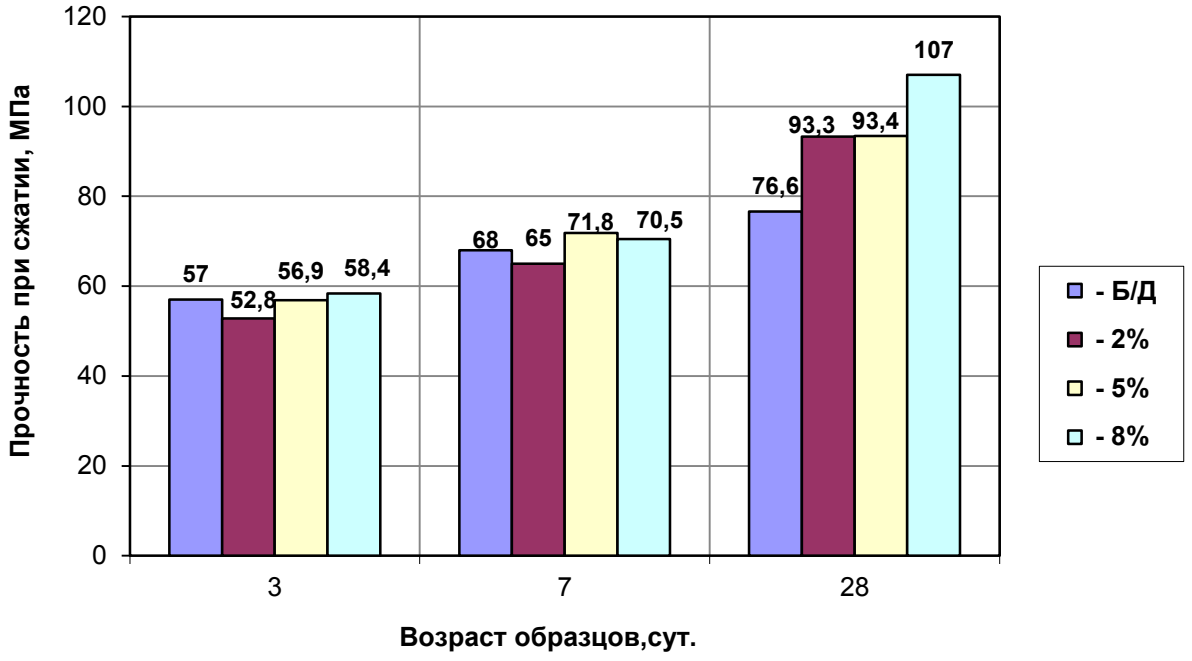


Рис. 1. Влияние добавки Микродура на прочность цементов.

Таким образом, мы видим, что введение в цементную систему тонкодисперсной минеральной добавки позволяет снизить водопотребность полученного вяжущего, ускорить процессы схватывания и твердения цемента, а также повысить его конечную прочность. Если прочность образцов в возрасте 3 и 7 суток не значительно отличается от контрольной, то в возрасте 28 суток прирост прочности на образцах с содержанием ОТДВ Микродур 2% и 5% составляет 22%, а с содержанием 8% - до 40%. Уменьшение водопотребности цемента при введении в его состав тонкодисперсного компонента можно объяснить наличием в ОТДВ значительного количества пластификаторов.

Заключение. Применение в технологии цементов и бетонов тонкодисперсных минеральных добавок, сочетающих в себе высокую реологическую и химическую активность, открывает широкие возможности улучшения технологических свойств цементных систем и бетонных смесей и направленного воздействия на формирование структуры цементного камня. При этом получаются цементные системы, в которых тонкодисперсная минеральная добавка играет роль центров направленной кристаллизации, и гидратация в этих композициях протекает более интенсивно. Помимо этого, введение

нанодобавок в цементы приводит к микроармированию цементного камня, упрочнению его структуры, создает возможность получения новых видов многокомпонентных модифицированных вяжущих нового поколения.

Список литературы

1. *Алексеев С.В.* Микродур – инъекционное минеральное вяжущее и опыт его применения / Международная научно-техническая конференция «Технологии, оборудование, материалы, нормативное обеспечение и мониторинг для тоннельного строительства и подземных частей высотных зданий». – М.: Тоннельная ассоциация России, 2006. – С.198 - 200.
2. *Байдаков О.С.* Применение материалов «Mikrodur» для инъекционных работ при укреплении грунтов и усилении конструкций. // Метро и тоннели. – 2005. – № 6. – С. 34 - 38.
3. *Панченко А.И., Харченко И.Я.* Особо тонкодисперсное минеральное вяжущее «Микродур»: свойства, технология и перспективы использования // Строительные материалы. – 2005. – № 10. – С. 76 – 78

05.23.05

Ю.М. Баженов д.т.н., А.И. Харченко

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, bajenov.m@gmail.com, ch.xmg@gmx.ch

БЕЗУСАДОЧНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПЕСКОВ

Исследование влияния расширяющихся добавок на усадку мелкозернистого бетона Получение данных по плотности и прочности бетона с модификатором. Показано, что химические усадки при использовании модификатора снижается в четыре раза.

Ключевые слова: *Мелкозернистый бетон, модификатор, усадка, сульфоалюминаты.*

Острый дефицит кондиционного заполнителя для бетонов в ряде регионов страны предопределяет необходимость широкого использования мелкозернистых бетонов в технологии бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях.[2]

Однако мелкозернистые бетоны имеют особенности, обусловленные его структурой, для которой характерны большая однородность и мелкозернистость, высокое содержание цементного камня, повышенная пористость и удельная поверхность твердой фазы, а также отсутствие жесткого каменного скелета. Отсутствие крупного заполнителя приводит к значительным усадкам мелкозернистого бетона.

Общая величина усадки складывается из пластической усадки, усадки от обезвоживания, химической усадки и усадки от карбонизации бетона. Усадка от обезвоживания и влажностная усадка может регулироваться методами ухода за твердеющим бетоном. Химическая усадка, связанная с гидратацией, является результатом связывания воды в процессе твердения бетона. Такой вид усадки независим от изменения влажности окружающей среды и требует применения специальных мероприятий.[1]

Эффективным способом предотвращения химической усадки является использование расширяющих добавок типа сульфоалюминатов. Твердение вяжущего, содержащего такие расширяющие композиции, сопровождается двумя процессами: с одной стороны это химическая усадка, как неотъемлемая часть процесса гидратации цемента, с другой стороны – химическое расширение в результате образования эттрингита.

В данной работе был использована комплексная добавка включающая суперпластификатор С-3 и метакаолинит, способствующие формированию высокопрочной структуры, и, одновременно, предотвращающие усадочные деформации бетонов, полученных из высокоподвижных смесей.[3,4]

Исследования проводились на мелкозернистых бетонах класса по прочности В40 с подвижностью П5, соответствующих прочности при сжатии 51,3 МПа и подвижности по ГОСТ 7473-94 более 21 см.

Использовались следующие материалы:

- портландцемент ПЦ500 Д0 – ОАО «Белгородский цемент» с активностью 50МПа, с нормальной густотой 25,5% и плотностью 3,1 г/см^3. Химический состав цемента: содержание оксида магния – 0.5%, оксида серы 2,5%, содержение йонов хлора менее 0,1%, массовая доля щелочных окислов 0,5%. Минеральный состав клинкера: содержание трехкальциевого силиката – 62%, двухкальциевого силиката – 16%, трехкальциевого алюмината – 6% и четырехкальциевого алюмоферрита –14%;
- песок месторождения Тарко-Сале с модулем крупности 1.14 с содержание фракций более 5 мм –0%, содержание пылевидных частиц –2.5%, средняя плотность зерен 2.55 г/см^3. График зернового состава представлен на рис. 1.

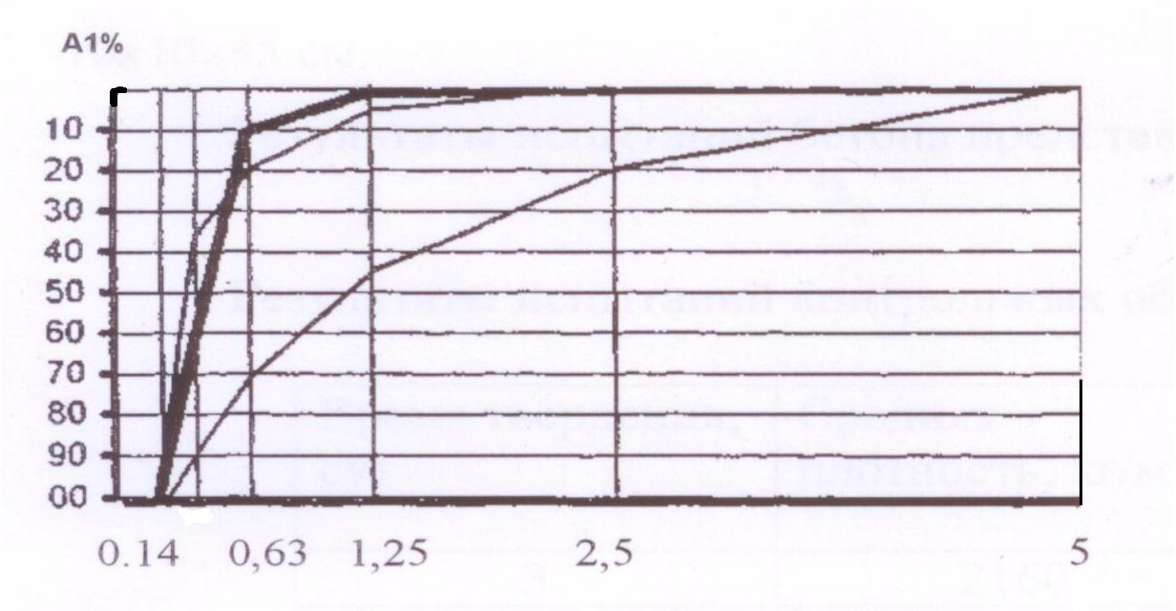


Рис.1. График зернового состава песка

- в качестве добавки был использована комплексная добавка, содержащая суперпластификатор С-3и метакаолинит.

Приготовление бетонной смеси осуществляли по стандартной технологической схеме с учетом требований ГОСТ 7473 по точности дозирования материалов, а также особенностей, связанных с применением органоминерального модификатора и с порядком загрузки и перемешивания компонентов.

Последовательность загрузки материалов в стандартный бетоносмеситель принудительного действия был следующий: загрузка песка при работающем смесителе, загрузка цемента и модификатора с перемешиванием в течение 10 сек, загрузка воды затворения с перемешиванием в течение 180-240 сек.

Были изготовлены бетонные смеси с водоцементным отношением В/Ц=0,48 и при водотвердом отношении В/(Ц + КБ)= 0,44 и расходом материалов в кг на 1 м^3: цемента =500 , песка 1360, воды=240, комплексной добавки в количестве 10% от массы цемента, равной 50 кг.

Полученная подвижность бетонной смеси составила 22 см ОК, средняя плотность свежеуложенной бетонной смеси 2155 кг/м^3, Были изготовлены 9 образцов-кубов размером 10х10х10 см и 3 призмы размером 10х10х45 см.

Результаты испытаний бетона представлены в табл.1

Табл. 1. Результаты испытаний контрольных образцов по ГОСТ 10180-90

Время твердения, сут	Средняя плотность, кг/м^3	Предел прочности при сжатии, МПа
3	2160	12,7
7	2172	45,1
28	2170	59,6

Примечание: условия твердения нормальные при Т=20+-2°С и влажности около 98%.

Результаты измерений усадки представлены на рис.2

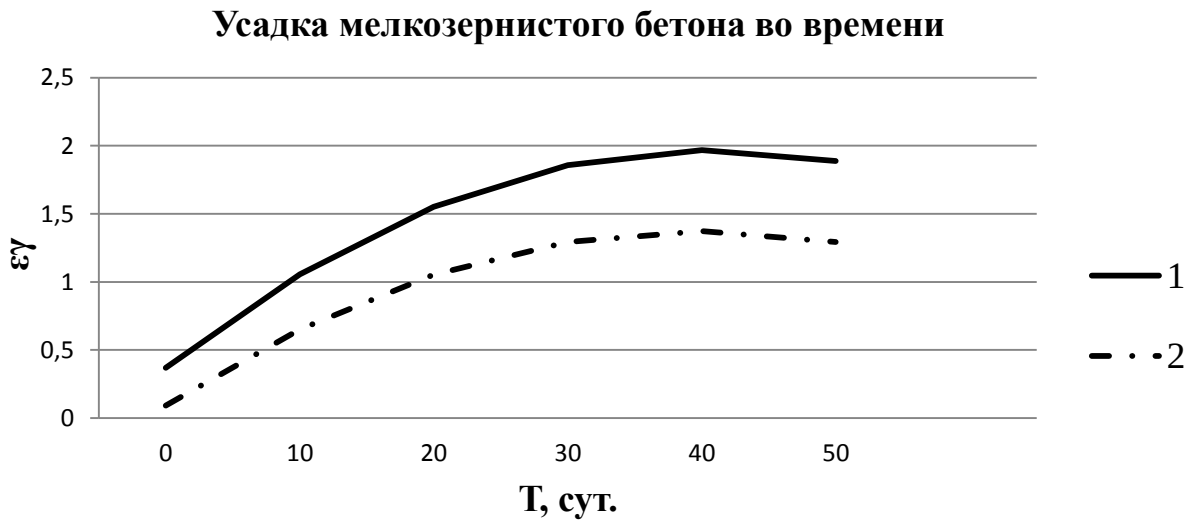


Рис. 2. Усадка мелкозернистого бетона во времени:
1- мелкозернистый бетон без добавки, εу = 0,36834 + 0,07841 Т – 0,00096 Т2
2- – мелкозернистый бетон с комплексной добавкой,
3- εу = 0,09175 + 0,06403 Т – 0,00080Т2

Таким образом, использование расширяющих добавок сульфоалюмитатного типа позволяет получать мелкозернистые бетоны высокой прочности с пониженными деформациями усадки.

Список литературы

1. *Батраков, В.Г.* Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков - М.: ТП,1998. - 768с.
2. *Баженов Ю.М.* Технологии бетона – Москва, Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011
3. Комплексный модификатор бетона// Петент РФ № 2288197, приоритет от 15.04.2005
4. *С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С.Кардумян*, «Новые модификации бетона» // Кн.М. типография «Пародиз», 2010, 258 стр.

05.22.10

А.В. Базанов, В.И. Бауэр к.т.н., Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский д.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, varnack0411@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ПОСТАХ ПО ТО И РЕМОНТУ МАШИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

В статье рассмотрены вопросы формирования рациональной структуры производственно-технической базы для ТО и ремонта машин, используемых при строительстве и ремонте линейной части магистральных нефтепроводов. Предложены зависимости рационального количества постов для ТО и ремонта машин от производственных факторов и установлены математические модели этих закономерностей. На основе разработанной имитационной модели для каждого типа техники определены наиболее рациональные базы для ее обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: *производственно-техническая база, магистральные нефтепроводы, спецтехника, эксплуатация, техническое обслуживание.*

Эксплуатация транспортно-технологических машин (ТТМ), используемых при ремонте и строительстве магистральных нефтепроводов (МН), характеризуется рядом особенностей. Значительные сезонные и годовые колебания объемов работ по ремонту трубопровода создают неравномерность в спросе на технику в различных управлениях магистральными нефтепроводами, в результате чего возникают проблемы перегрузки или недостаточной загрузки мощностей по ТО и ремонту техники. Удаленность мест работы спецтехники от основных объектов производственно-технической базы (ПТБ) (площадок обслуживания на трубопроводе (ПО), баз при нефтеперекачивающих станциях (ЛПДС), баз при Управлениях магистральными нефтепроводами – ЦТТ, специализированных ремонтных предприятий (СП)) [1], и рассредоточенность элементов ПТБ по длине трубопровода на значительные расстояния создают сложности в контроле за соблюдением периодичности ТО и ремонта техники, в организации сервисных работ. Наличие нескольких элементов производственной базы, на которых возможно осуществить ТО и Р техники, разница в их оснащенности и расстояниях между ними определяют значительное количество вариантов распределения объемов работ между элементами производственной базы.

Необходимо для каждой группы техники определить наиболее рациональный с точки зрения затрат элемент производственной базы для проведения ее ТО и ремонта. Также необходимо выявить закономерности влияния производственных факторов на потребность в постах и ПАРМ для ТО и ремонта техники и определить модели этих закономерностей.

Целевая функция исследования представлена ниже.

$$\sum C = C_{лим} + C_{рез} + C_{рем} + C_{ТО} + C_{ож} \to \min \qquad (1)$$

Где $C_{лим}$ – затраты, которые несет предприятие в случае превышения сроков выполнения ремонта МТ из-за отказа техники, руб.;

$C_{рез}$ – затраты на резервную единицу техники, руб.;

$C_{рем}$ – затраты на устранение отказа техники, руб.;

$C_{ТО}$ – затраты на техническое обслуживание ТТМ, руб.;

$C_{ож}$ – затраты на ожидание техники в очереди на обслуживание, руб.

Суммарные затраты на обеспечение этого процесса будут выражаться графиком на рис. 1.

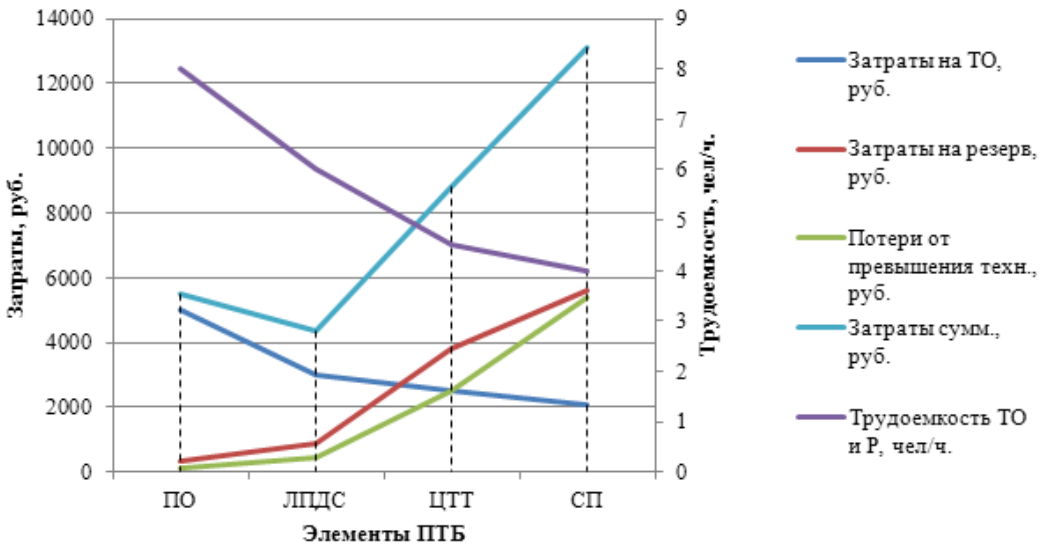


Рис. 1 - Графический метод определения рационального элемента ПТБ для проведения ТО и Р техники

Абсцисса минимума кривой суммарных затрат определяет собой рациональный вариант. Очевидно, что по мере удаления места работы техники от базы затраты на ее перемещение будут увеличиваться. ТО или ремонт техники возможно реализовать без дополнительных затрат при условии, что общее время обслуживания техники будет меньше времени ее технологического простоя (времени, в течение которого техника временно не задействована в операциях и ее можно обслужить).

Процесс не является марковским, поэтому для решения следует воспользоваться методом имитационного моделирования [2].

Алгоритм решения задачи представлен в виде укрупненной блок-схемы на рис.2.

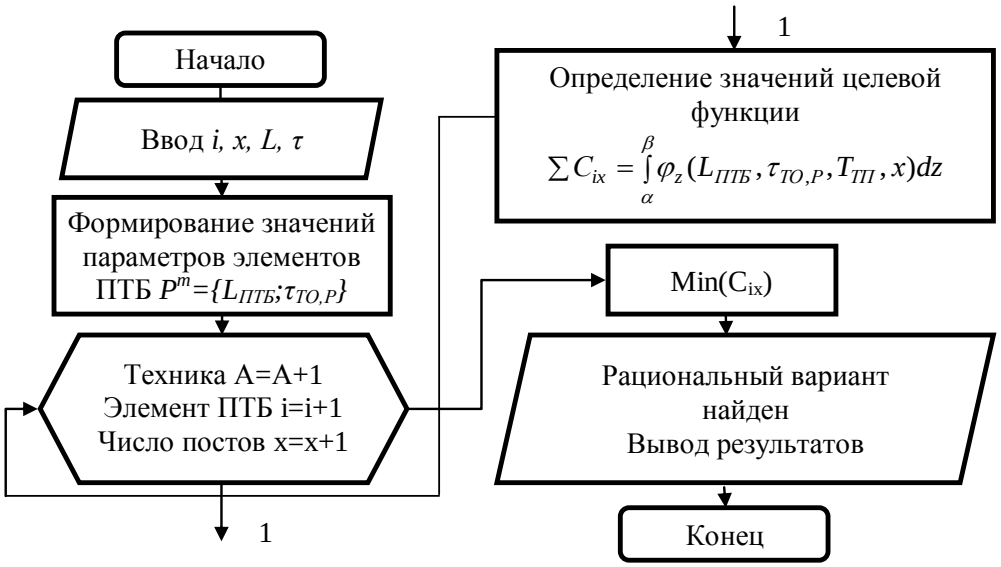


Рис. 2 - Алгоритм выбора варианта рациональной структуры проведения регламентных работ по ТО и Р техники

На первом этапе формируется матрица параметров элементов ПТБ с учетом распределения случайных величин – расстояний между элементами $\boldsymbol{L_{ПТБ}}$, трудоемкости ТО и ТР $\boldsymbol{\tau_{TO,P}}$, времени технологического простоя техники на ремонте МН $\boldsymbol{T_{ТП}}$ и параметров групп техники. Далее для каждой группы техники моделируется процесс ТО или ремонта на каждом элементе ПТБ. Моделирование производится для различных значений количества постов ТО и Р на элементе ПТБ. При этом определяется значение показателя эффективности.

При выполнении заданного количества реализаций и усреднения показателя ***C*** определяется его минимальное значение. Элемент, при котором достигается наименьшее значение целевой функции, и будет являться рациональным для данной группы техники, а количество постов *x*, при котором на элементе достигаются минимальные затраты, будет являться оптимальным для данного элемента ПТБ. Далее процесс повторяется для других групп техники.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, посвященные указанной проблеме, позволили достичь следующих результатов.

Для каждого типа техники были определены рациональные варианты распределения работ по ТО и Р по элементам ПТБ, при которых затраты на проведение ТО и ремонта техники будут минимальны, работы по ТО и Р техники будут выполнены в срок и в полном объеме без дополнительных затрат на обеспечение непрерывности работ основного производства по ремонту нефтепроводов. Выявлено, что на процесс выбора элемента ПТБ влияет фактор времени технологического простоя $T_{ТП}$ и фактор расстояния до базы при УМН (ЦТТ) $L_{ЦТТ}$. Для удобства использования результаты представлены в виде номограмм [2], одна из которых в качестве примера приведена на рис.3.

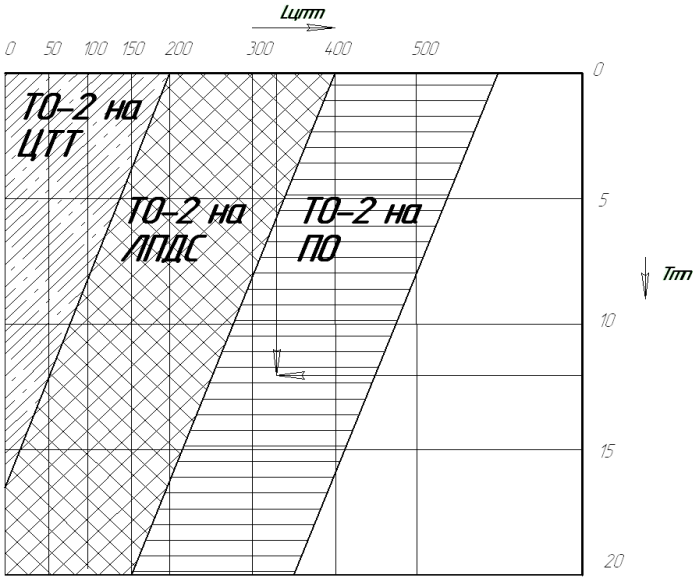


Рис. 3 – Номограмма определения рационального элемента ПТБ для ТО-2 тракторной техники

Также в ходе выполнения корреляционного анализа [3] были определены значения коэффициентов корреляции и выбраны те факторы, которые необходимо учитывать при формировании потребности в постах (ПРМ) на элементах ПТБ: объем работ по выборочным ремонтам нефтепровода, $N_{рем}$; расстояния между элементами производственной базы по ТО и Р техники, $L_{ПТБ}$; скорость передвижения техники между элементами ПТБ, $V_{ПТБ}$.

В результате проведения эксперимента на имитационной модели были получены зависимости рационального количества постов по ТО и Р машин на элементах ПТБ от вышеуказанных производственных факторов. Полученные модели имеют вид:

$$X_{ПО} = 0{,}065 \cdot N_{REM}^{\;0{,}69} \cdot \left(\frac{L_{ПТБ}}{V_{ср}}\right)^{0{,}57} \qquad (2)$$

$$X_{ЛПДС} = 0{,}091 + 0{,}024 N_{рем} - \frac{L_{ПО}}{V_{ПО}} + 0{,}56 \frac{L_{ЦТТ}}{V_{ЦТТ}} \qquad (3)$$

$$X_{ЦТТ} = 1.59 + \sum_{i=1}^{m} 0.0614 \cdot e^{-0.131 \cdot Li/Vi} \cdot N_{рем_i} \qquad (4)$$

где $X_{ПО,ЛПДС,ЦТТ}$ – число постов на ПО, ЛПДС, ЦТТ, шт.;

L_i – расстояние от *i*-ой ЛПДС из *m* в данном УМН до базы ЦТТ, км.

Таким образом, разработана методика определения рациональных параметров элементов ПТБ для ТО и Р техники, используемой при строительстве и ремонте линейной части магистральных нефтепроводов. Полученные результаты могут быть использованы Управлениями магистральных нефтепроводов для повышения эффективности процессов эксплуатации транспортно-технологических машин.

Список литературы

1. *Козин Е.С., Базанов А.В., Бауэр В.И.* Моделирование операций по обслуживанию и ремонту спецтехники, задействованной в строительстве и ремонте магистральных трубопроводов // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. - С. 157-160.
2. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. - М.: Советское радио, 1972. - 552 с.
3. *Глаголев Н.А.* Курс номографии. - М.: Высшая школа, 1961. - 272 с.
4. *Захаров Н.С.* Моделирование процессов изменения качества автомобилей. - Тюмень: ТГНГУ, 1999. - 127 с.

05.22.10

А.В. Базанов, В.И. Бауэр к.т.н., Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский д.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет
Институт транспорта
Кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»
г. Тюмень, Bazanov.artem@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ТОПЛИВОЗАПРАВЩИКАХ ДЛЯ МАШИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

В статье рассмотрена математическая модель определения рационального количества передвижных средств заправки для транспортно-технологических машин, используемых в процессах ремонта магистральных нефтепроводов Западной Сибири. Определена нормативная потребность в топливозаправщиках в зависимости от объемов работ по ремонту магистральных нефтепроводов.

Ключевые слова: *магистральный нефтепровод, транспортно-технологические машины, топливозаправщик, ремонт, строительство.*

Обслуживание магистральных нефтепроводов (МН) характеризуется значительным числом ремонтных объектов с большим количеством транспортно-технологических машин (ТТМ) и удаленностью ремонтных объектов от производственно-технологических баз (ЦТТ и СТ) до 100 км и более. В ремонтах МН, как правило, используются трудно транспортируемые тяжелые машины. Перевозка их на большие расстояния для проведения заправочных работ связана с повышенными затратами времени. Поэтому заправка такой техники проводится на месте ремонта магистрального нефтепровода.

В настоящее время известно несколько моделей для определения числа средств заправки.

Модель определения количества передвижных средств заправки, технического обслуживания, ремонта и транспортировки в нефтегазодобывающей отрасли разработана Яговкиным А.И. [1, с. 338]. С помощью предложенной им методики осуществляется расчет необходимых средств заправки для парка машин на год. Данная методика учитывает загрузку заправляемых машин и средств заправки, проста в применении. Однако данная методика не учитывает специфику ремонтов магистральных нефтепроводов, марку, модель и типоразмер топливозаправщика (ТЗ), затраты на его эксплуатацию, для расчетов используются средние значения расстояний, проходимых ТЗ за смену, среднюю продолжительность заправки средств заправки, требуемое количество заправок одной обслуживаемой машины в день.

В работе Чирскова В.Г. исследованы методы расчета потребности в мобильных средствах заправки нефтепродуктами машин, используемых на трубопроводном строительстве [2, с.101].

Автором приводится модель определения количества средств заправки, которая так же не учитывает марку, модель и типоразмер топливозаправщика, затраты на его эксплуатацию, работу заправляемых машин, сложна для практических расчетов, допускает большую погрешность.

Бесперебойное снабжение транспортно-технологических машин, используемых при ремонте магистральных нефтепроводов, ГСМ и качественное проведение заправочных работ в значительной мере определяют высокопроизводительную работу машин и их долговечность. Поэтому число средств заправки должно быть таким, чтобы полностью удовлетворить потребность парка, и, в то же время, число средств заправки не должно быть излишним, чтобы не вызвать увеличения затрат на эксплуатацию топливозаправщиков.

Поэтому целевая функция процесса обеспечения ТТМ топливом имеет следующий вид:

$$Z_i = A + ЗП_м + C_{гсм} + C_{ТОиР} + C_{нал} \to \min, \quad (1)$$

где Z_i – суммарные затраты на эксплуатацию топливозаправщиков i-го типоразмера, руб. ;

A – амортизационные отчисления, руб.;

$ЗП_м$ – заработная плата водителей, руб.;

$C_{гсм}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб.;

$C_{ТОиР}$ – затраты на проведение ТО и ремонта, руб.;

$C_{нал}$ – налог на владельцев транспортных средств, руб.

При этом должно выполняться условие:

$$T_{зп} \le T_{фрв} \cdot N_{ТЗ},$$

где $T_{зп}$ – время заправки всей техники, ч;

$T_{фвр.}$ – фонд времени работы топливозаправщика, ч;

$N_{ТЗ}$ – количество топливозаправщиков.

В результате анализа существующих методик разработана модель определения необходимого количества передвижных средств заправки для транспортно-технологических машин, используемых при ремонтах магистральных нефтепроводов.

Время заправки всей техники в течение ремонта нефтепровода:

$$T_{зап.общ.} = \frac{Q_{сум}}{V_{т.б.}} \cdot t_з, \quad (2)$$

где $Q_{сум}$ – потребность ремонтируемых объектов в топливе, л [3];

$V_{т.б.}$ – средний размер топливного бака, л ;

$t_з$ – продолжительность заправки одной машины, ч .

Фонд времени работы топливозаправщика определяется как:

$$T_{фрв} = [T_{раб} \cdot Д_{рем} - (T_{з.тз} + T_{перем.})] \cdot k_{исп.тз.} \cdot k_{исп.ем.}, \quad (3)$$

где $T_{раб.}$ – продолжительность рабочей смены топливозаправщика, ч;

$Д_{рем}$ – период проведения ремонтных работ, дней;

$T_{з.тз.}$ – время заправки топливозаправщика, ч ;

$T_{перем.}$ – время на перемещение топливозаправщика, ч;

$K_{исп.тз}$ – коэффициент использования топливозаправщика по времени;

$K_{исп.ем.}$ – коэффициент использования емкости топливозаправщика.

Время на перемещение топливозаправщика может быть представлено выражением:

$$T_{перем.} = \frac{l_{птб}}{v_{т.з.}} \cdot 2n_{ез} + \frac{l_{м.р.} \cdot (N_{рем} - 1)}{v_{т.з.}} \cdot n_{ез}, \quad (4)$$

где $l_{птб}$ – расстояние от ЛПДС до места проведения работ, км;

$l_{м.р.}$ – суммарное расстояние между ремонтами, км;

$N_{рем}$ – количество одновременно выполняемых ремонтов;

$v_{т.з.}$ – среднетехническая скорость топливозаправщика, км/ч;

$n_{ез}$ – количество ездок от ЛПДС до места проведения работ.

Количество ездок от ЛПДС до места проведения работ определяется:

$$n_{ез} = \frac{Q_{сум}}{Q_{т.з.} \cdot 1000}, \quad (5)$$

где $Q_{т.з.}$ – типоразмер топливозаправщика, м^3

Алгоритм выбора оптимального количества топливозаправщиков представлен на рисунке. В начале выбирается количество, типы и продолжительность ремонтов, при этом в расчете используются такие их характеристики как длина ремонтируемых объектов, расстояние от ПТБ до ближайшего ремонта, расстояние между ремонтами и скорость сообщения

(среднетехническая скорость средств заправки). Далее из базы данных ТС выбирается конкретная модель (или типоразмер) топливозаправщика $ТЗ_i$ и для одной единицы техники производится расчет времени заправки ТТМ. Если оно ниже требуемого, то количество ТЗ увеличивается на единицу $N_{ТЗ}=N_{ТЗ}+1$. При достижении выполнения полного объема работ по заправке ТТМ расчет прекращается, и для полученного количества ТЗ оцениваются затраты на эксплуатацию Z_i. Далее аналогичный расчет повторяется для следующей модели ТЗ. По результатам вычислений для всех ремонтов формируется таблица количественного состава ТЗ каждой модели, а также затраты на эксплуатацию.

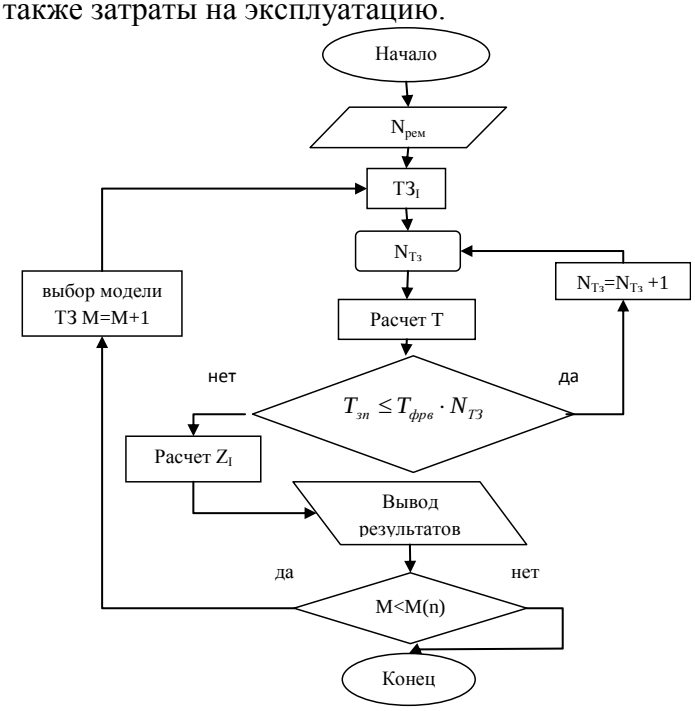


Рис. Блок-схема алгоритма расчета необходимого количества топливозаправщиков

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований [4] можно использовать в практическом применении для оперативного корректирования количества топливозаправщиков на период проведения ремонтов МН. Результаты расчета представлены в таблице.

Таблица - Нормативы потребности в передвижных средствах заправки

Средства заправки	Число средств заправки при Lптб, км											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
5 ремонтов												
Топливозаправщик вместимостью 6,5 м^3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	-
Топливозаправщик вместимостью 7,5 м^3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4
Топливозаправщик вместимостью 10 м^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Топливозаправщик вместимостью 12 м^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Топливозаправщик вместимостью 15 м^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Топливозаправщик вместимостью 17 м^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Топливозаправщик вместимостью 20 м^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10 ремонтов												
Топливозаправщик вместимостью 6,5 м^3	1	2	2	2	3	4	-	-	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 7,5 м^3	1	2	2	2	3	3	5	-	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 10 м^3	1	1	1	2	2	3	3	3	6	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 12 м^3	1	1	1	2	2	2	3	3	3	5	-	-
Топливозаправщик вместимостью 15 м^3	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	-
Топливозаправщик вместимостью 17 м^3	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	4
Топливозаправщик вместимостью 20 м^3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
15 ремонтов												
Топливозаправщик вместимостью 6,5 м^3	2	3	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 7,5 м^3	2	3	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 10 м^3	2	2	3	3	3	6	-	-	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 12 м^3	2	2	3	3	3	4	4	-	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 15 м^3	2	2	2	3	3	3	3	4	-	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 17 м^3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	-	-	-
Топливозаправщик вместимостью 20 м^3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	5	-

Полученные результаты могут быть использованы для разработки АРМ – автоматизированное рабочее место инженера транспортного отдела (диспетчера) организации, осуществляющей ремонты магистрального нефтепровода. АРМ позволит выбирать ремонты МН и производить расчеты необходимого количества топливозаправщиков для них.

Список литературы

1. *Яговкин А.И.* Организация производства технического обслуживания и ремонта машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 400 с.

2. *Чирсков В.Г., Николаев С.Н.* Организация ремонта и технического обслуживания машин при сооружении магистральных нефтепроводов. – М.: Недра, 1984. – 291 с.

3. *Базанов А.В., Бауэр В.И., Козин Е.С., Терехов А.С.* Методика определения потребности в топливе для автотракторной техники при ремонте магистральных нефтепроводов //Автотранспортное предприятие. – 2012. - №8. – С. 49-52.

4. *Захаров Н.С.* Моделирование процессов изменения качества автомобилей. - Тюмень : ТюмГНГУ, 1999. - 126 с.

05.13.12

Т.А. Барабанова

Московский государственный строительный университет,
кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
barabanova.tanya@mail.ru

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Проведение поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Рассматриваются вопросы развития и применения технологических карт в строительстве. Технологическое проектирование с использованием графиков Ганта и сетевых моделей Уолкера-Келли. Необходимость автоматизации технологических карт в строительстве.

Ключевые слова: *технологические карты, календарное планирование, графики Ганта, сетевые модели Уолкера-Келли, технологическое проектирование, информационные технологии*.

В конце XIX – начале XX вв. Россия располагала достаточно опытными кадрами отечественных инженеров-строителей, имеющих мировую известность. Строительные работы велись вручную и имели сезонный характер. Работы начинались весной и заканчивались осенью. Положение со строительным делом в России начало меняться с 30-х годов XX-го века. Увеличивались объёмы строительства во всех отраслях народного хозяйства, были приняты меры по организации и развитию строительной промышленности, созданию проектно-строительных организаций, оснащению строительных организаций машинами и механизмами. В настоящее время мощный парк строительных машин позволяет осуществлять комплексную механизацию работ непосредственно на строительной площадке, при этом ручной труд вытесняется из звеньев технологического процесса и заменяется работой машин.

Первая явная форма описания работ во времени выполнения появилась в начале XX века и связана с именем Ганта. Форма ленточных графиков предложенная Гантом оказалась настолько удачной, что благополучно дожила до нашего времени практически без изменений. Форма состоит из двух частей: табличной, где указываются названия и нужные количественные характеристики работ; календарной, где на календарной оси времени работа вычерчивается в виде масштабного линейного отрезка с длиной, равной ее продолжительности и явной календарной привязкой ее начала и окончания.[1] С появлением линейных графиков в практике подготовки работ выделяется и начинает использоваться в явном виде стадия предварительной их расстановки во времени исполнения, получившая общее название календарного планирования. Наряду с каждой составной работой, характеристиками длительности и календарных сроков начала-окончания стал обладать и весь комплекс работ, отраженный в графике.

В те же годы в СССР разрабатывались методы поточного выполнения строительных работ, также имеющие прямое отношение к процедурам календарного планирования. В практику проектирования и выполнения работ были привнесены понятия специализированных потоков, захваток, циклов, последовательного, параллельного и совмещенного выполнения работ. Безусловно, эти приемы использовались в строительной практике и ранее, однако в явном виде они были систематизированы и изложены именно в то время. Поточный принцип с применением специализированных потоков и максимальным

совмещением сроков выполнения работ является сегодня основным приемом организационно-технологического видения при календарном планировании сложных комплексов строительных работ. Его планомерное методическое освоение происходит при подготовке инженеров-строителей в составе курсов технологии и организации строительства. [2]

Удобная и наглядная для небольшого количества простых работ, форма линейного графика казалась недостаточно эффективной для моделирования большого числа взаимосвязанных работ в рамках поточного принципа, где сходятся представления о составе работ, составе фронтов работ, темпе и времени выполнения работ специализированными потоками исполнителей на отдельных фронтах.

Одной из попыток преодолеть указанные недостатки стало применение графиков-циклограмм, где форма обеспечивает построение и оценку работ по четырем основным критериям: состав работ или специализированных потоков (фиксируется в виде названия наклонной линии работы на поле графика); состав фронтов работ (фиксируется в виде позиций-названий захваток, этажей, отдельных участков по левой вертикальной оси графика); время выполнения работ как шкала графика по оси X; темп выполнения работы на отдельном фронте как угол наклона линии работ в пределах отдельной захватки (чем круче, тем выше темп).

Решающим этапом развития методов календарного планирования стало появление формальных приемов описания связей работ между собой. В пятидесятые годы прошлого века американские ученые Уолкер и Келли предложили принципиально новую форму записи работ – сетевые модели. Процесс выполнения работ в моделях Уолкера-Келли (иногда их называют классическими сетевыми моделями) представляется как цепь событий, совпадающих с началом и окончанием работ, где в качестве связей этих событий выступают сами работы. Дополнив модели понятием фиктивных работ (работы-связи с нулевой продолжительностью), авторы предоставили универсальную возможность гибко связывать группы работ в различных комбинациях с удобной визуализацией логики зависимостей работ друг от друга по очередности выполнения. Главным следствием внедрения такой формы записи работ стала разработка формального метода расчета моделей. Такой расчет, получивший название метода критического пути, автоматически расставляет работы сетевой модели на относительной шкале времени с соблюдением связей, определяя: самую длинную цепочку последовательно выполняемых работ, определяющую общую продолжительность (критический путь); календарные моменты начала-окончания каждой работы; общие и частные резервы времени начала-окончания работ, в рамках которых изменения сроков выполнения работы не вызывают изменения общего срока выполнения работ модели.

Технологическое проектирование является неотъемлемой частью проектной документации, разрабатываемой при строительстве объекта. Выполнение технологических процессов предусмотрено на всех стадиях создания проекта: от технико-экономического обоснования до рабочей документации и производства работ. Строительство здания или сооружения следует организовывать с учетом целесообразного расширения технологической специализации в выполнении строительно-монтажных работ, применения в строительстве комбинированных организационных форм управления, основанных на рациональном сочетании промышленного и строительного производства.

Технологическая карта – проектно-технологический документ, в котором описываются вопросы организации и технологии строительно-монтажных работ отдельного процесса или технологического комплекса, указываются потребности в материалах, калькуляции затрат, требования к качеству работ и технике безопасности, технико-экономические показатели. Основой технологической карты должно быть применение комплексной механизации современного, высокопроизводительного состава.[3]

Фрагмент технологической карты на устройство плоских монолитных железобетонных фундаментных плит в зданиях и сооружениях общего назначения при толщине плиты до 1200 мм:

1. Область применения

Типовая технологическая карта разработана на устройство плоских монолитных железобетонных фундаментных плит в зданиях и сооружениях общего назначения при толщинах плит до 1200 мм…

2. Организация и технология выполнения работ

До начала устройства фундаментной плиты должны быть выполнены следующие работы:

организован отвод поверхностных вод от котлована;

устроены подъездные пути и автодороги…

3. Требования к качеству и приемке работ

При приемке работ предъявляют журналы сварочных работ, документы лабораторных анализов и испытаний строительных лабораторий, акты освидетельствования скрытых работ…

4. Фасетный классификатор

Привязка типовой технологической карты к конкретным условиям производится с помощью фасетного классификатора факторов, влияющих на расход материально-технических ресурсов, затрат труда, зарплату.

В фасетах содержится информация по всем вариантам производства работ, предусмотренных в типовых технологических картах…[4]

С 80-х гг. прошлого века основным направлением развития становится разработка программных продуктов, реализующих, с одной стороны, существующие алгоритмические возможности для автоматизации процедур составления проектно-технологической документации и календарного проектирования и, с другой стороны, современные достижения информационных технологий.[5] Именно применение вычислительной техники определило новые подходы в области технологического проектирования. Прежде всего, произошло естественное расширение информационного наполнения работ ресурсным содержанием (исполнители, материалы, финансы) с широкой автоматизацией действий по наращиванию, хранению, сортировке и систематизации информации (свойства баз данных). [6]

Таким образом, важной проблемой в настоящее время является создание современных методов формирования технологических карт. Технологическая карта хорошо подходит для обучения низко квалифицированных рабочих выполнению работ, требующих специальных знаний и подготовки. Появление новых видов работ обязывает рабочих, мастеров и прорабов знать, как наиболее эффективно выполнить работу или управлять строительным процессом, и часто это невозможно без качественно подготовленной технологической карты на определенный вид работ. Это еще раз подтверждает то, что, если предприятие или строительная фирма хочет действительно качественно выполнять строительные работы с максимальной эффективностью и правильными затратами ресурсов, то невозможно обойтись без качественно разработанной технологической карты.

Список литературы

1. МДС 12-29.2006. «Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты», М.: ЦНИИОМТП, 2007г.

2. «Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами». Э.В. Лысенко. М. : Радио и связь, 1987г.

3. «Технология строительного производства. Учебник для вузов». *С.С. Атаев, Н.Н. Данилов, Б.В. Прыкин и др.М.*: «Стройиздат», 1984г.

4. «Типовые технологические карты на производство отдельных видов работ». М.: Институт Промстройпроект Госстроя СССР, 1989г.

5. «Управление проектами». *В.Либерзон.М.*: 1997г.\

6. «Управление проектами: Ученое пособие». *Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г.* Под общ. ред. *И.И. Мазура.* - 3-е изд. - М.: Омега-Л, 2004г.

05.17.08

В.Ф. Беккер к.т.н.

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Березниковский филиал,
кафедра автоматизации технологических процессов,
Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АБСОРБЕРЕ

На основе экспериментальных исследований физической модели абсорбера с подвижной насадкой, получены результаты, подтверждающие эффекты интенсификации трехфазного псевдоожиженного слоя за счет организации вращательного движения подвижной насадки.

Ключевые слова: *подвижная насадка, физическая модель, вращающаяся насадка, распределение массы насадки по объему.*

Влияние вращательной составляющей движения насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в абсорбере исследовано на стандартной системе «вода – воздух». В работе исследованы две отличающиеся распределением массы по объему подвижной насадки конструкции кубической формы одинакового объёма 8 см^3 и массы – 6,4 г:

– сплошная деревянная насадка;

– насадка, обладающая способностью к вращению [1], – пенопластовая со свинцовым шариком диаметром 8,4 мм, закреплённым в центре каждого элемента насадки.

Физическая модель абсорбера [2] в виде цилиндрической колонки диаметром 150 мм и высотой 800 мм снабжена распределительной решёткой колосникового типа с долей свободного сечения 0,5. Статическая высота слоя подвижной насадки – 150 мм. В отдельных точках по оси аппарата на одинаковом расстоянии друг от друга, равном 20% динамической высоты слоя, стереометрическим способом измерялась величина развиваемой в установившихся режимах удельной поверхности контакта фаз. Измерялись и регистрировались расходы газа и жидкости на входе в аппарат, гидравлическое сопротивление аппарата и высота зоны псевдоожижения. Скорость псевдоожижающего газового потока изменялась в пределах от 1,0 до 3,5 м/с. Плотность орошения в ходе эксперимента устанавливалась на двух уровнях 10 м/ч или 20 м/ч. Полученные зависимости динамической высоты слоя, представленные на рис. 1, показывают, что присутствие вращательной составляющей в движении элементов насадки при одинаковых внешних условиях снижает высоту зоны активного псевдоожижения на 20 … 30%.

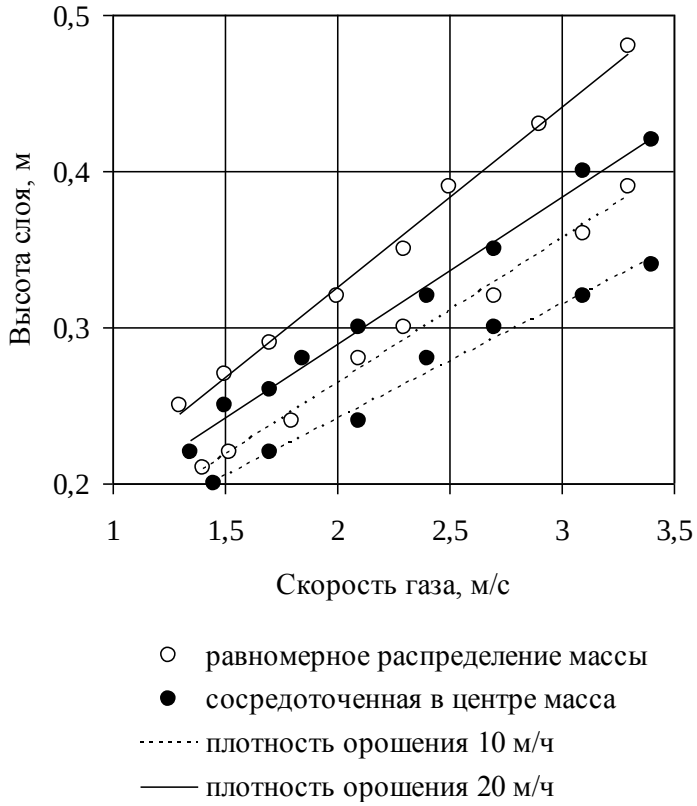


Рис. 1. Зависимости динамической высоты слоя

Удельная поверхность контакта фаз, характеризующая тесноту контакта газа с жидкостью, как показано на рис. 2, увеличивается при организации вращения насадки. При скорости газа в 3,5 м/с удельная поверхность увеличена примерно в полтора раза. Это свидетельствует о качественных изменениях, происходящих в структуре псевдоожижения вращающейся насадки при увеличении скорости газа и, вероятно, об увеличении вклада мелкодисперсных составляющих газа в развитие межфазной поверхности.

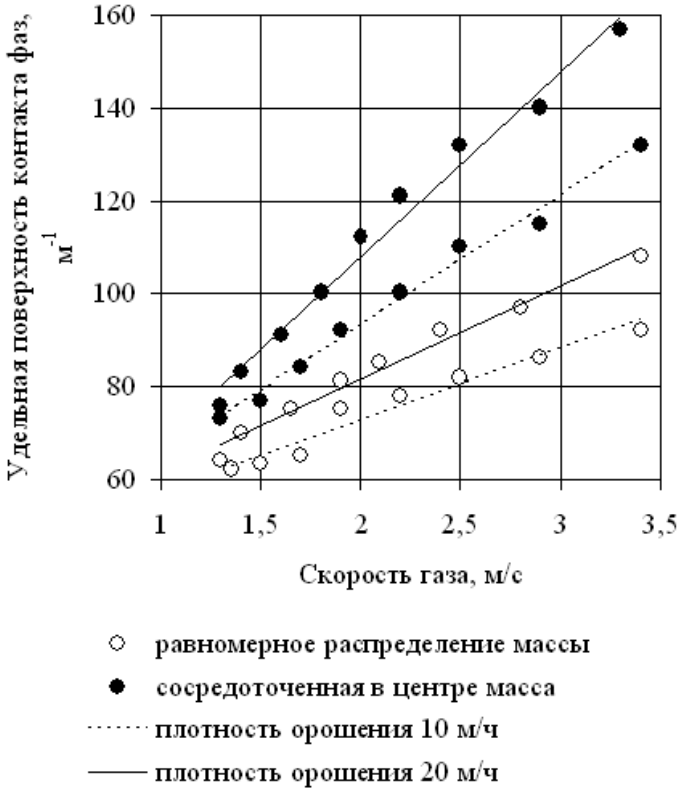


Рис. 2. Зависимости удельной поверхности контакта фаз в трехфазном слое

Газосодержание – доля динамического объема, занятая газом, определялось стереометрическим [2] способом при отключении одного из двух точечных электродов измерения удельной поверхности фаз. Газосодержание слоя вращающейся насадки, как показывает рис.3, существенно ниже (до 50%), чем слой хаотически и поступательно движущейся насадки – структура трехфазного слоя вращающейся насадки более интенсивна.

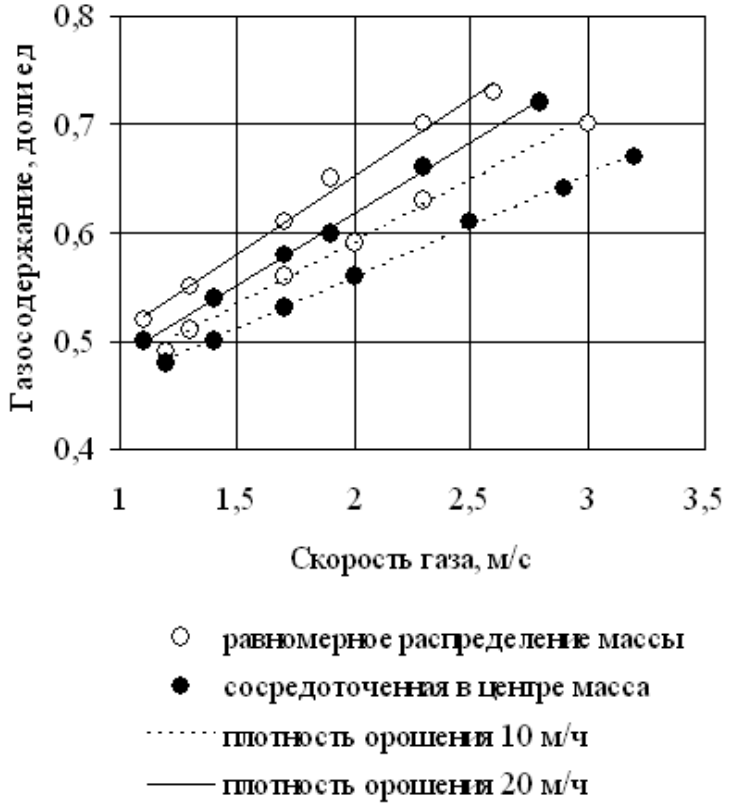


Рис. 3. Газосодержание в псевдоожиженном слое

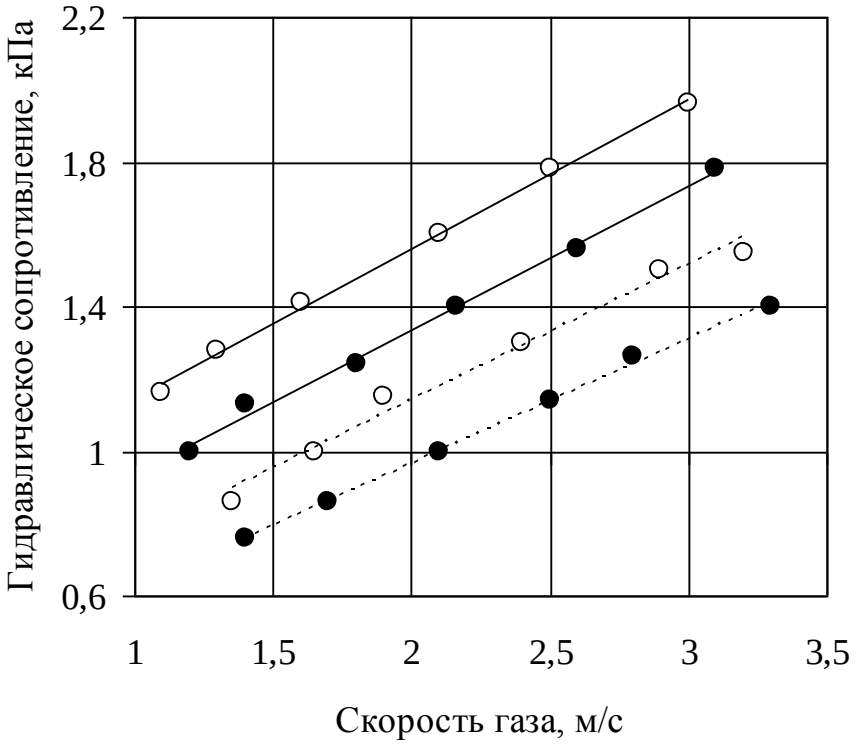


Рис. 4. Гидравлическое сопротивление псевдоожиженного слоя
(обозначения аналогичны рис. 3)

Гидравлическое сопротивление орошаемой псевдоожиженной насадки является одним из основных факторов, определяющих энергетические затраты на процесс абсорбции. Организация вращения подвижной насадки изменяет структуру трехфазного слоя и ведет, как показано на рис. 4, к существенному снижению гидравлического сопротивления.

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, интенсификация гидродинамических процессов в абсорберах на основе использования вращающихся насадочных тел действительно имеет место. При этом существенно увеличивается удельная межфазовая поверхность, уменьшается гидравлическое сопротивление аппарата и, соответственно, энергетические затраты на транспортировку газа, а также динамическая высота слоя, позволяющая уменьшить высоту секции, и еще более интенсифицировать рабочий объем абсорбера.

Список литературы

1. *Беккер В.Ф., Кафаров В.В., Шумихин А.Г., Черепанов А.И.* Влияние распределения массы по объему насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в трехфазном псевдоожиженном слое. ТОХТ Том XXII. 1988.– С.581–582.
2. *Беккер В.Ф.* Стратегия многоуровневого физического моделирования промышленной абсорбционной колонны с подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья – №1, 2012. – С. 85-90.
3. *Беккер В.Ф.* Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.

05.19.05

О.И. Богданов, О.И. Седляров к.т.н.

Московский государственный университет дизайна и технологии,
кафедра химической технологии и промышленной экологии,
Москва, ecoeps@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассматриваются вопросы моделирования распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий на основе нестационарной трёхмерной модели тепло- массопереноса, описанной системой дифференциальных уравнений в частных производных.

Ключевые слова: *производство обуви, вредные вещества, рабочая зона, математическая модель, тепло- массоперенос.*

В связи с развитием материально-технической базы обувного производства существенно изменилась технология выполнения операций на всех этапах сборки обуви. Технология обувного производства описывает рациональные методы ее изготовления с учетом свойств исходных материалов и требований, предъявляемых к готовой продукции, и процессы выполнения технологической операции [3].

В настоящее время повышение производительности труда в обувной промышленности достигается внедрением оборудования, повышающим степень автоматизации технологических процессов. Но даже при этом на предприятиях сохраняется высокая доля ручного труда. Поэтому здоровье, работоспособность и самочувствие человека в значительной степени определяются условиями труда в производственных помещениях, где он проводит значительную часть своего времени.

Исходя из гигиенических нормативов условия труда на промышленных предприятиях по характеру воздействия на человека подразделяют на оптимальные, допустимые, вредные и опасные [6]. Создание оптимальных и допустимых условий труда на обувных фабриках позволит повысить производительность труда, что положительно отразится на качестве и количестве выпускаемой продукции, следовательно и на экономической составляющей производства.

Анализ работы обувных предприятий показал, что технологический процесс изготовления обуви сопровождается опасными и вредными производственными факторами, в частности запыленностью и загазованностью [2, 4]. Ряд таких операций как раскрой, спускание краев деталей, фрезерование уреза подошвы, шлифование сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны пыли. В составе пыли содержатся взвешенные частицы кожи, текстиля, резины, абразивных материалов, талька. В результате нагревания кожи во время горячей полировки и обжига края при обработке резиновых подошв в воздух выделяются продукты термической деструкции, окись углерода и сернистый газ. Операции по отделке обуви путем нанесения аппретур, устранению брака и дефектов, сопровождаются выделением органических веществ, входящих в состав красящих и пленкообразующих материалов. Наибольшее загрязнение воздушной среды производственных цехов возникает в результате загазованности, которая сопровождается выделением паров органических растворителей в основном от применяемых клеев. На рабочих местах цеха сборки заготовок обуви и цеха сборки обуви в результате применения полихлоропреновых, полиуретановых, клеев на основе ТЭП и клеев-расплавов в воздух рабочей зоны выделяются ацетон, этилацетат, бензин и другие вредные вещества.

На сегодняшний день нормативно-методическая база в области нормирования качества воздуха рабочей зоны обеспечивает среднее значение анализируемых показателей. Для промышленных предприятий, особенно обувных, такой способ нормирования является не совсем корректным. Обувное производство характеризуется наличием зон с повешенной концентрацией вредных веществ на рабочих местах, а так же зон, где движение воздуха ограниченно технологическим оборудованием. Поэтому в настоящее время необходим другой подход к нормированию качества воздуха, позволяющий определять наличие и размеры таких зон. Следовательно расчет распространения вредных веществ должен строиться на основе решения нестационарной трёхмерной модели тепло- массопереноса.

Выделение и распространение вредных веществ в производственных помещениях протекает в условиях одновременного воздействия ряда внешних возмущающих течение факторов:

– неизотермичность (отличие температур твердых поверхностей оборудования, несущих и ограждающих конструкций зданий и газовых потоков);

– сжимаемость (плотность газа не является постоянной величиной);

– градиенты давления;

– источниковые члены (поступление в помещение продуктов газовых выделений и твердых частиц от технологического оборудования в процессе его работы, функционирование систем вентиляции);

– протекание химических реакций;

– двухфазность (одновременное сосуществование нескольких фаз газ + твердые частицы, газ + жидкость, газ + твердые частицы + жидкость);

– турбулентность;

– переход ламинарного режима течения в турбулентный.

Действие перечисленных выше факторов приводит к существенному усложнению закономерностей. Следовательно, методы расчета тепломассообменных процессов для оценки динамики распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий должны отражать влияние этих факторов.

К числу наиболее значимых особенностей тепломассообменных процессов в производственных помещениях обувных предприятий можно отнести:

– распространение вредных веществ происходит в помещении, где наибольшая разница давлений в разных зонах помещения не превышает десятых долей процента от величины среднего давления в помещении;

– скорости воздушных потоков и газовых выделений малы по сравнению со скоростью звука;

– определяющими факторами для движения воздуха в помещении являются процессы вынужденной конвекции (наличие в помещении систем приточно-вытяжной общеобменной вентиляции и местных отсосов) и естественно-конвективные потоки (от нагретых поверхностей технологического оборудования и отопительных приборов).

При разработке математической модели расчета динамики распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий принимались следующие ограничения и допущения реальной картины процесса тепло- и массопереноса:

– существует локальное термодинамическое и химическое равновесие во всем объеме помещения, что позволяет использовать равновесное уравнение состояния;

– газовая среда является смесью идеальных газов, что дает удовлетворительное приближение в рассматриваемых диапазонах температур и давлений [5];

– химические реакции взаимодействия вредных веществ как между собой, так и с воздухом (или его компонентами) не учитываются;

– пренебрегаем взаимным влиянием турбулентности и излучения.

Газовая среда рассматривается как вязкий теплопроводный сжимаемый идеальный газ. Влияние твердых частиц, выбрасываемых в воздух цеха от технологического оборудования,

учитывается при определении характеристик радиационного теплопереноса внутри помещения.

В настоящее время существует три основных метода моделирования тепло-массопереноса: прямое численное моделирование (Direct Numerical Simulation, DNS), метод крупных вихрей (Large Eddy Simulation, LES) и метод базируеющийся на осредненных уравнениях Навье-Стокса (Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS) [1].

Расчет динамики распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий основан на решении системы трехмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса, включающих основные уравнения сохранения и ряд дополнительных уравнений для описания теплофизических свойств материалов и турбулентности газовой среды (рис. 1).

Рис. 1 – Структура математической модели распространения вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Метод моделирования крупных вихрей (LES) является компромиссным вариантом между прямым численным моделированием и решением осредненных уравнений Навье-Стокса. По сравнению с DNS, LES требует меньших вычислительных ресурсов и времени. В основе метода лежит два предположения. Первое состоит в возможности разделения поля течения на движение крупных и мелких вихрей. Осуществляется расчет крупных вихрей, которые находятся под прямым воздействием граничных условий, несущие в себе максимум рейнольдсовых напряжений. Мелкомасштабная турбулентность, имеющая универсальные характеристики, считается изотропной, следовательно является менее критичной и проще поддается моделированию. Второе предположение заключается в возможности аппроксимации нелинейных взаимодействий между крупными и мелкими вихрями только по крупным вихрям с использованием подсеточных моделей. То есть применяется гипотеза о статистической независимости крупных и мелких вихрей. Следовательно, мелкомасштабное движение исключается из исходных уравнений Навье-Стокса с применением операции фильтрации и моделируется с использованием подсеточных моделей. Наиболее популярными и часто используемыми фильтрующими функциями являются фильтры Гаусса и Фурье [1].

При расчетах с использованием метода конечных объемов фильтрование осуществляется естественным образом: в результате интегрирования дифференциальных уравнений, представляющих законы сохранения, по конечным объемам. Среди применяемых подсеточных моделей можно выделить модель Смагоринского, двухточечные замыкания, динамические модели, модели одного уравнения. Имеющиеся подсеточные модели корректно предсказывают средние характеристики потока, а так же моменты более высокого

порядка и флуктуации интегральных характеристик. Роль подсеточного моделирования возрастает при увеличении числа Рейнольдса [7].

Для численного моделирования распространения вредных веществ в воздухе рабочей зоны цеха сборки обуви клеевого метода крепления фабрики «Егорьевск-обувь» на основе данных инструментального контроля была определена операция с повышенным содержанием ацетона на рабочих местах – это «Намазка клеем подошв», где используется полиуретановый клей с содержанием органического растворителя ацетона 16%. Для расчета динамики изменения концентраций данных веществ на рабочих местах применялось свободное специализированное программное обеспечение – FDS (Fire Dynamics Simulator), которое реализует вычислительную гидродинамическую модель и численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков.

В результате численного расчета, для построенной трехмерной модели операции «Намазка клеем подошв» (рис. 2а), была определена динамика изменения концентраций ацетона в заданных точках (рис. 2в, 2г), которые были расположены на высоте 1,2 м от уровня пола (рис. 2б). М-1 находилась на уровне дыхания рабочего, в точке М-2 учитывалось взаимное влияние выделения ацетона из емкости с клеем и намазанной клеем подошвы, точка М-3 учитывала взаимное влияние выделения ацетона с поверхности затянутой обуви на конвейере, на границе рабочей зоны.

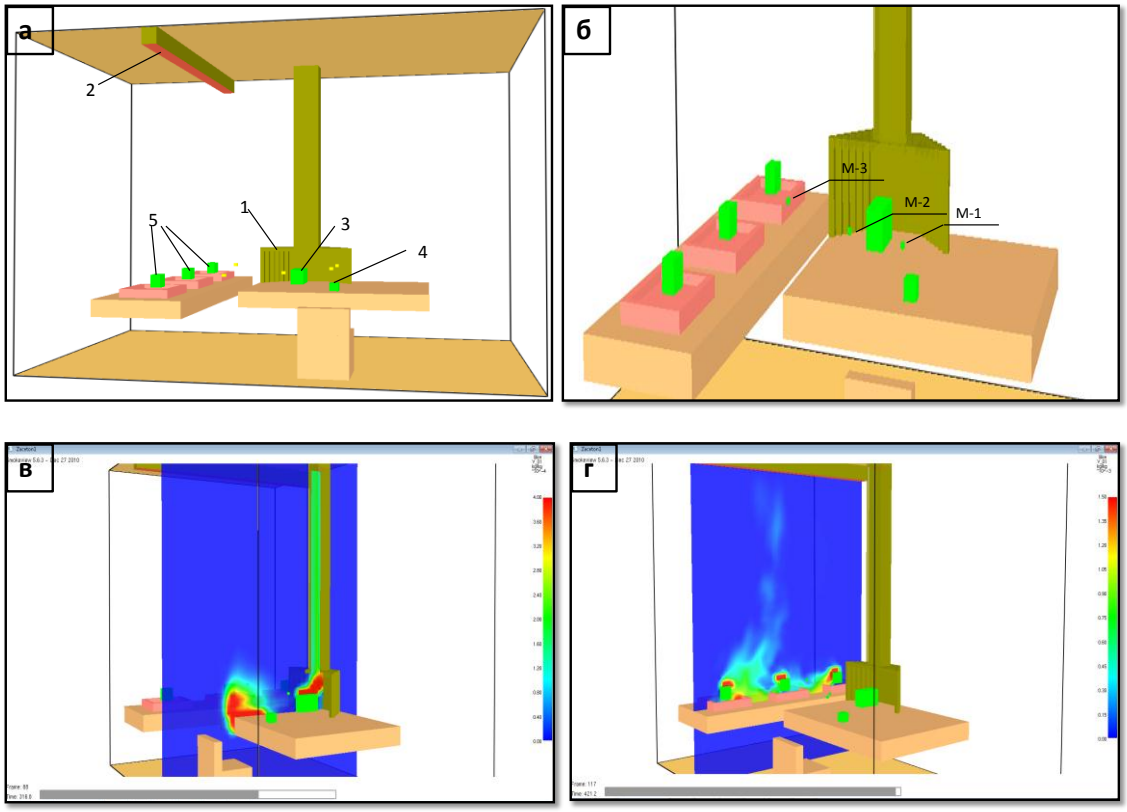


Рис. 2 – Рабочее место для выполнения операции «Намазка клеем подошв» технологического процесса сборки обуви: а – геометрия модели, где 1 – система местной вентиляции, 2 – система общеобменной вентиляции, 3 – емкость с клеем, 4 – намазанная клеем подошва, 5 – затянутая обувь на конвейере; б – расположение расчетных точек; в, г – распределение концентраций ацетона в плоскостях, проходящих через источники выделения вредных веществ в рабочей зоне

Результаты расчетов, представленные в виде графиков (рис. 3), показали, что осредненное значение концентраций по времени в т. М-1 равнялась 301,6 мг/м^3, что в 1.5 раза выше ПДК,

в т. М-2 204,9 мг/м^3, что соответствует крайней границе ПДК и в т. М-3 170,4 мг/м^3, что составляет 0,85 ПДК.

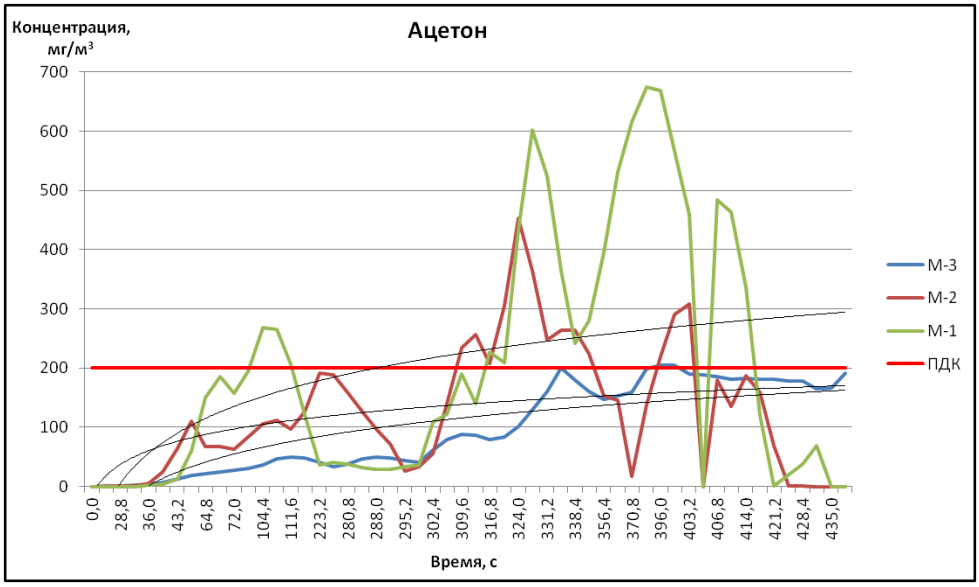


Рис. 3 – Изменение концентраций ацетона в воздухе рабочей зоны в расчетных точках

При проектировании обувных предприятий одной из важнейших задач является обеспечение нормативных показателей параметров микроклимата, в том числе качества воздуха рабочей зоны, в течение всего срока эксплуатации сооружения. Разработанные подходы по моделированию распространения вредных веществ в воздухе рабочей зоны в производственных цехах обувных предприятий можно использовать при проектировании, реконструкций эксплуатации производственных зданий. Благодаря использования предложенной модели, возможно еще на стадии проектирования обувного предприятия спрогнозировать негативное воздействие на работников, а следовательно сделать правильный выбор компоновки производственного оборудования и инженерных систем отопления, вентиляции и кондиционирования. На основе численных расчетов можно выявлять зоны повышенных концентраций вредных веществ, тепловыделений, скорости движения воздуха и принимать своевременные управленческие решения по охране труда работников обувных предприятий, добиваясь при этом повышения производительности труда.

Список литературы

1. *Волков К.Н., Емельянов В.Н.* Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
2. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. *Довнич И.И.* Технология производства обуви: учебник для нач. проф. образования. – М: Издательский центр «Академия», 2004. – 288 с.
4. *Кравец В.А., Свищев Г.А., Меркулов А.А. Седляров О.И.* Безопасность жизнедеятельности в легкой промышленности: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 432 с.
5. *Пузач С.В.* Математическое моделирование газодинамики и тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 150 с.
6. Р 2.2.755.99 Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.
7. *Bruer M.* A challenging test case for large eddy simulation: high Reynolds number circular cylinder Fllow // International Journal of Heat and Fluid Flow. 1998. V. 21, №. 9. P. 1281 – 1302.

05.13.01

А.В. Бондаренко, Д.А. Макаров

Московский авиационный институт (технический университет "МАИ"),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, alex@inmas.ru, makarov@inmas.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНО ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены основные особенности организации материально-технического снабжения процесса технической эксплуатации и ремонта ВС. Дано описание ключевых механизмов планирования, используемых в процессе материального обеспечения ТОиР ВС. Приведен анализ информационного обеспечения указанных методов в рамках стандартной модели автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: *Техническое обслуживание и ремонт ВС; материально-техническое обеспечение обслуживания ВС; эксплуатационная документация.*

Одной из важнейших задач при эксплуатации воздушных судов в гражданской авиации, является оптимальное обеспечение запасными частями в ходе всего цикла технического обслуживания (логистическая поддержка). При этом необходимо учитывать ряд особенностей, связанных именно с построением системы материально технического снабжения в гражданской авиации, а именно:

- Потребность в запасных частях может возникать не только из планового технического обслуживания воздушных судов, но и из-за внезапных отказов (или подозрений на отказ), которые в общем случае непредсказуемы.
- Учет оборотных деталей – то есть запасных частей, которые могут пройти процесс восстановления/ремонта и после этого использоваться дальше.

Наличие этих факторов существенно меняет подход к процессу материально технического снабжения в сравнении с более привычным и широко распространенным подходом, используемым в машиностроении, когда количество запасных частей необходимых на складах прямо пропорционально количеству изготавливаемой продукции (с учетом незначительного количества брака).

Большое количество внезапных отказов подразумевает вероятностный механизм определения необходимого количества запчастей, а высокая оборачиваемость (цикл ремонта/восстановления) требует более гибких схем поставки, например – формирования общих обменных фондов между несколькими авиакомпаниями (пулов).

Система материально технического снабжения решает в первую очередь две тесно взаимосвязанные задачи:

- Своевременное наличие запасных частей необходимых для обслуживания судов – задача носит непрерывный оперативный характер. Её несвоевременное решение может приводить к повышенным затратам, связанным с простоем воздушных судов из-за отсутствия запасных частей.
- Минимизация запасов хранящихся на складах – некорректно рассчитанная потребность в запасных частях может привести к неоправданному избытку запасных частей на складах и, как следствие, омертвлению финансовых средств.

Исходя из сказанного, целью системы управления материально техническим снабжением является обеспечение максимального уровня доступности запасных частей при минимальном количестве запасных частей находящихся в запасе. При достижении этой цели центральное место занимают следующие две основные задачи планирования обеспечения потребностей в запасных частях:

1. Планирование запасных частей, необходимых в рамках планового обслуживания ВС (**плановая потребность**). Здесь обычно применяются детерминированные алгоритмы на основе программы обслуживания ВС.
2. Планирование запасных частей, необходимых для обеспечения неплановых ремонтов и замен компонентов (**внеплановая потребность**). Здесь применяются статистические вероятностные методы расчета, базирующие на расчетных показателях надежности ВС и компонентов.

Исходная информация для решения этих задач в среде АСУ ТОиР содержится в базе данных этой системы. Используемые при этом объекты базы данных и их взаимосвязи с названными задачами представлены на рис.1. Здесь же показаны основные документы нормативной типовой и пономерной документации на воздушные суда, информация из которых формирует объекты базы данных АСУ ТОиР. В частности,

- Программа обслуживания ВС, разрабатываемая на основе регламентов технического обслуживания, либо Maintenance Program Document (MPD) и включающая в себе сроки и объемы работ по техническому обслуживанию принятые в данной организации
- План эксплуатации ВС формируемый на основе планового налета ВС и регламентных сроков вывода ВС из эксплуатации для технического обслуживания
- Информация о состояние ВС и компонентов, описывающая применительно к воздушному судну его текущую наработку, уже выполненные операции по техническому обслуживанию, ремонты и т.п.
- База данных запасных частей, представляет справочник агрегатов либо компонентов, включая информацию об их применимости на отдельных ВС, возможности взаимозамены, а так же информации о возможности их получения – плановые сроки поставки, стоимость и прочая информация. Здесь может так же может быть указана информация о влиянии на возможность осуществления полета (Minimum Equipment List)
- Статистика надежности, формируемая на основании регулярных отчетов, о возникающих в процессе эксплуатации ВС неисправностях, а так же на основе расчетных показателей предоставляемых компаниями производителями в виде рекомендуемых списков запасных частей (Recommended Spare Part List).

Объединение названных объектов данных представляет собой единую информационную базу авиакомпании, содержащую всю информацию, необходимую для планирования материально технического обеспечения работ ТОиР воздушных судов. Эта информация делится на два класса в зависимости от степени интенсивности её изменения. При этом выделяются:

1) Нормативно-справочная информация, которая изменяется сравнительно редко. Она, как правило, отражает ресурсы, которыми располагает предприятие, а именно:

- информационные ресурсы, в число которых, в частности, входит эксплуатационно-техническая информация, описывающая процесс обслуживания ВС. К этой информации, в частности, относится и Программа обслуживания ВС, а также элементы типовой документации ВС, бюллетени и директивы летной годности (SB/AD), технологическая информация, законодательные акты, требования и наставления по технической эксплуатации;
- другие виды ресурсов предприятия (материальные, кадровые, средства технологического оснащения и др.). Информацию о данных видах ресурсов, как правило, определяют справочники, в частности, справочник запчастей, аккумулирующий информацию о компонентах и агрегатах ВС, справочники вспомогательных и расходных материалов, оборудования, инструмента, персонала.

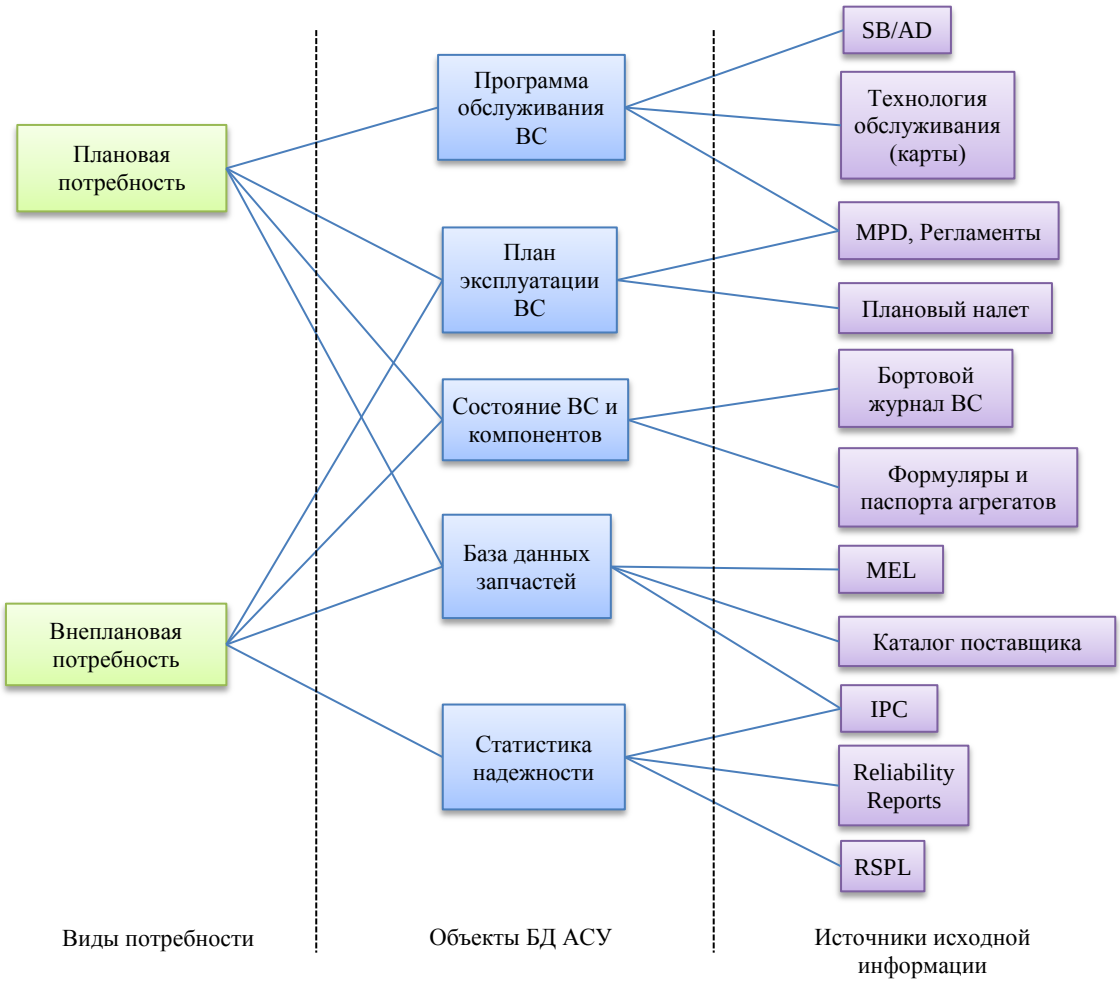


Рис. 1. Взаимосвязи задач планирования потребностей в материалах с источниками исходной информации.

2) Оперативная информация, изменения которой отражают все текущие события в процессе эксплуатации каждого воздушного судна, т.е. изменяющаяся весьма интенсивно. Её основу составляют следующие три вида данных:

- Информация о текущем состоянии ВС и их компонентов, запасах на складах, загрузке ангаров и т.п.; формально этот вид данных можно определить как «данные наблюдений за ВС и ресурсами предприятия»;
- Решения, принятые в процессе деятельности обслуживающей организации («данные управления»), к которым относятся, в частности, план эксплуатации ВС, планы закупок и т.п., а также информацию, порождаемую;
- Вторичную/производную информацию, получаемую путем аналитического моделирования на основе данных наблюдения и данных управления. Сюда входят как оценки интегральной оценки деятельности подразделений и организации в целом, например, ключевые показатели эффективности (KPI), так и оценки функционирования объекта обслуживания, например надежностная информация, используемая при расчете внеплановой потребности в компонентах ВС.

Механизмы наполнения и поддержки информационной базы АСУ ТОиР в актуальном состоянии для рассмотренных выше объектов этой базы представлены на рис. 2.

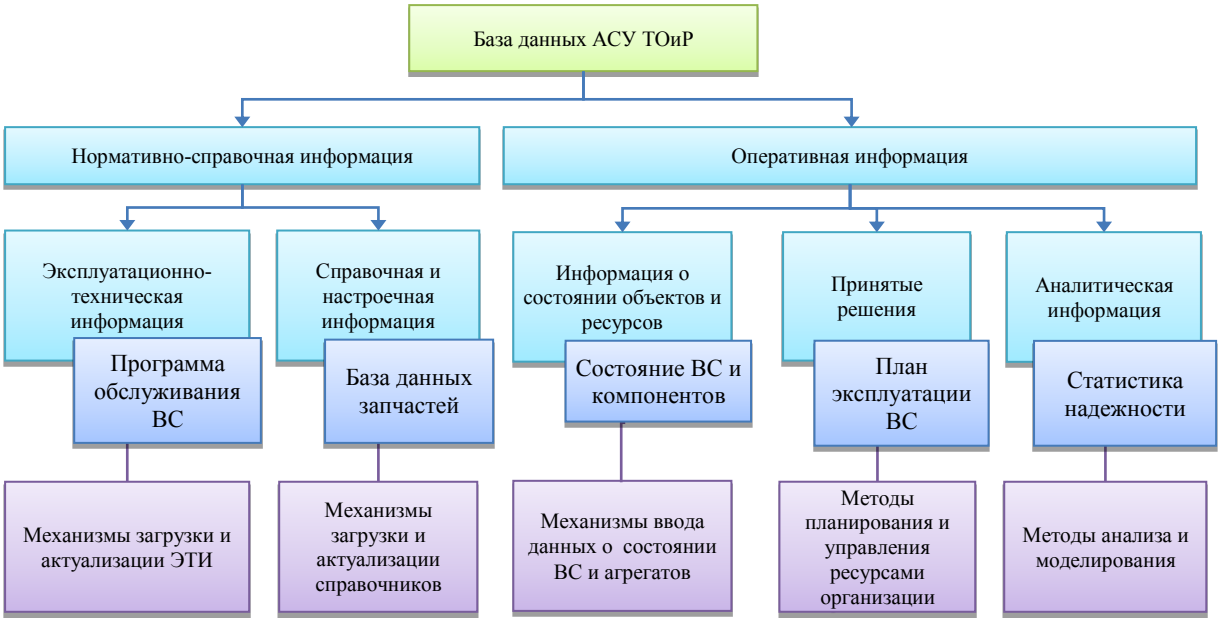


Рис. 2. Структура базы данных АСУ ТОиР.

Механизмы поддержки нормативно-справочной информации подразумевают наличие набора инструментов для массовой/автоматизированной загрузки и обработки изменений актуальной программы обслуживания ВС и каталогов запасных частей производителей. Основным механизмом появления оперативной информации о состоянии ВС является ручной ввод данных на основе формируемых в ходе процесса обслуживания документов (бортовой журнал, результаты плановых осмотров, паспорта агрегатов и т.д.). Оперативная информация об управленческих решениях в виде изменения целевых показателей плана эксплуатации ВС так же подлежит ручному вводу. Наколенная оперативная информация так же может использоваться для расчета (и последующего контроля) параметров эффективности функционирующей системы, например, показатели надежности агрегатов, которые формируются на основании зарегистрированного налета и количества обнаруженных дефектов.

05.11.16

В.Н. Будилов к.т.н., П.В. Дреманович

Поволжский государственный университет сервиса,
кафедра «Информационный и электронный сервис»,
г. Тольятти, neuropower@yandex.ru, deinseele@yandex.ru

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОКАМЕРЫ

Продолжено исследование бесконтактного метода измерения частоты, основанного на применении видеокамеры. Проведены лабораторные эксперименты и компьютерное моделирование метода. Получены оценки границ рабочих диапазонов амплитуд и частот при использовании недорогой камеры общего назначения в лабораторных условиях.

Ключевые слова: *механическое колебание, вибрация, бесконтактный метод, измерение частоты, субпиксельное смещение.*

Бесконтактное дистанционное измерение параметров механических колебаний актуально в нескольких областях: мониторинге состояния сооружений и конструкций, контроле вибраций и биений, биометрических системах ограничения доступа. В [1–3] предложен и экспериментально подтвержден метод измерения частоты колебаний, основанный на применении видеокамеры и обработке данных видеопотока. Он позволяет измерять частоту на значительных расстояниях, не требуя дорогого оборудования. В настоящей работе проведено исследование возможностей этого метода при субпиксельных амплитудах, когда амплитуды смещений объекта на изображении порядка 1 пикселя или меньше.

Метод основан на обработке двумерного сечения видеопотока плоскостью строка-кадры или столбец-кадры. Сечение развертывается в одномерный массив, производится его преобразование Фурье и вычисление амплитудного спектра. Далее участки амплитудного спектра, расположенные между гармониками частоты кадров, складываются, что дает так называемый усредненный спектр, отображающий периодические колебания объекта в виде спектральных пиков. Обоснование метода и детали алгоритма обработки данных приведены в [1].

Исследование включало в себя лабораторные эксперименты, которые проведены на установке, показанной на рис. 1.

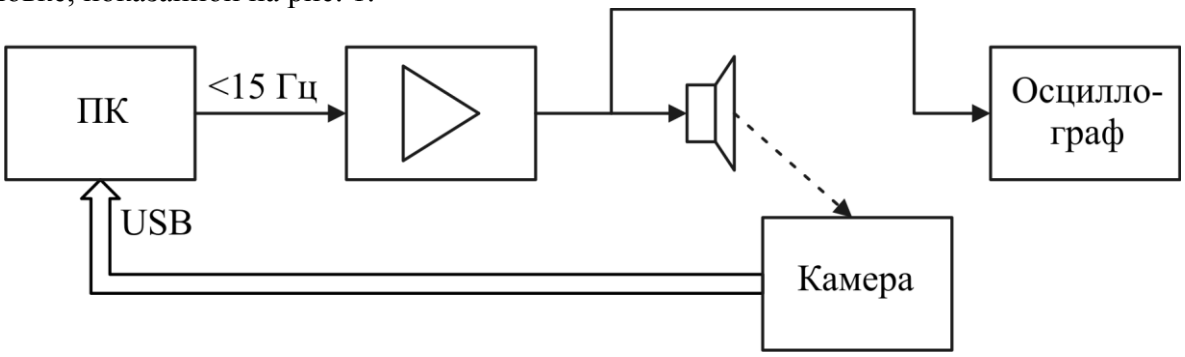


Рис. 1- Схема экспериментальной установки

Генератор звуковой частоты (выход звуковой карты ПК) вырабатывал синусоидальный сигнал с частотой в диапазоне 0,2…15 Гц. Усиленный сигнал подавался на пассивную колонку. Передняя крышка с колонки была снята, а на диффузоре динамика была сделана белая метка. Камера, наведенная на диффузор сбоку, снимала колебания метки, возникающие при работе генератора. С целью контроля амплитуды напряжения на динамике применялся осциллограф. В диапазоне 0,2…15 Гц (это значительно ниже резонансной

частоты динамика) влиянием резонанса можно пренебречь и считать, что амплитуда механического отклонения пропорциональна амплитуде напряжения независимо от частоты. Измеренное отношение отклонения к напряжению составило 0,12 мм/В, отношение отклонения к размеру пикселя – 0,25 мм/пиксель. Для ввода данных использовалась обычная web-камера общего назначения QUMO WCQ-107. Расстояние от объектива камеры до метки составляло 0,1 м. Запись видео велась в формате 320*240 с частотой кадров 30 Гц при разрядности 8 бит/пиксель (256 градаций яркости). Использовалось по 256 кадров видеопотока.

На рис. 2 показаны примеры усредненных спектров для амплитуды колебаний 12 мкм (0,05 пикселя). Верхний график получен при частоте сигнала 10 Гц. Три нижних графика демонстрируют разрешение по частоте приблизительно 0,2 Гц, достигнутое в условиях эксперимента. Во всех случаях положение спектрального максимума соответствовало частоте колебаний.

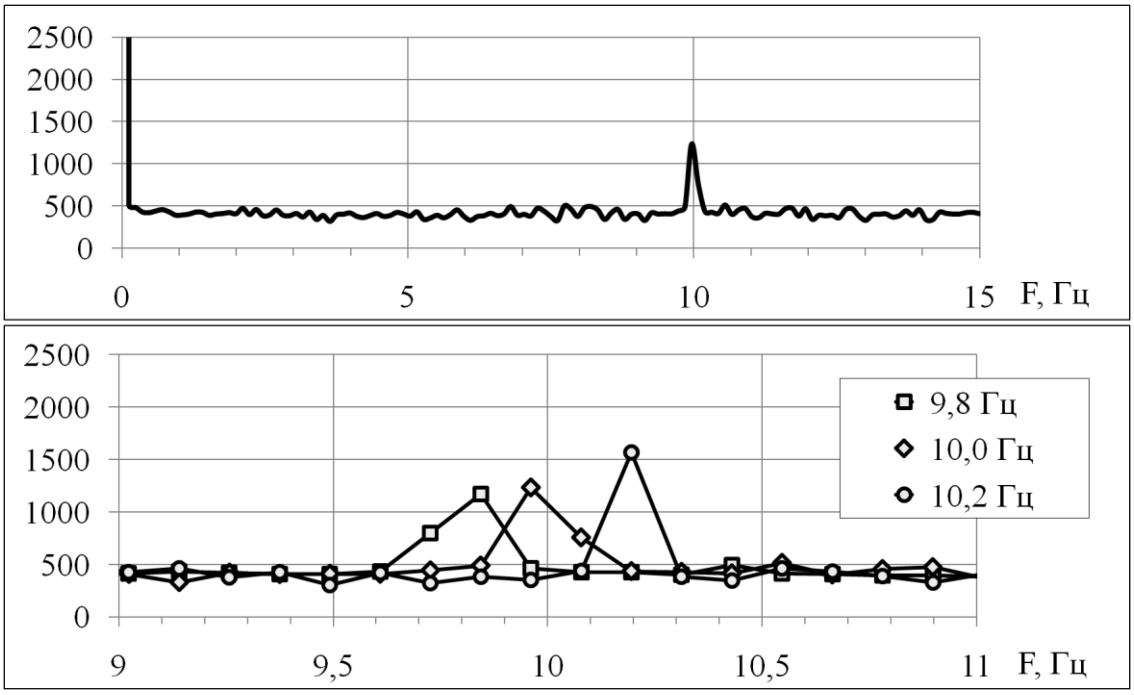


Рис. 2- Примеры усредненных спектров

Исследовалось также влияние амплитуды колебаний. На рис. 3 приведены экспериментально полученные зависимости уровней спектральных составляющих от амплитуды Xm, выраженной в единицах размера пикселя. Максимум, обозначенный B(10), наблюдался во всех точках в отсчете усредненного спектра с номером 85. Этот номер в условиях эксперимента соответствует частоте 30*85/256 Гц = 9,96 Гц, что в выбранной дискретной сетке наиболее близко к частоте подаваемых колебаний 10 Гц. Можно отметить приблизительно линейный характер зависимости, что открывает возможности измерения амплитуды.

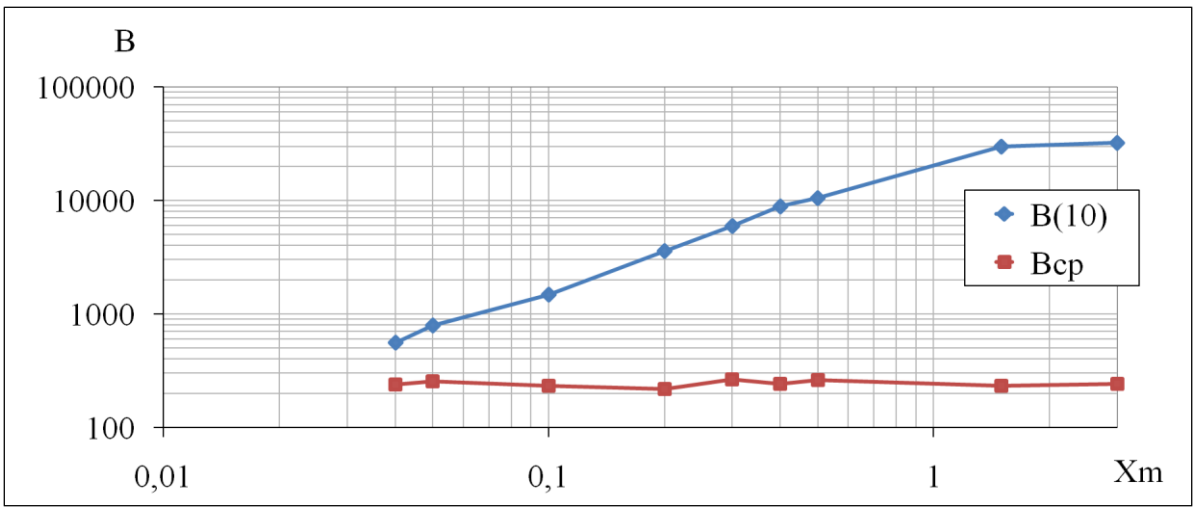


Рис. 3- Зависимость максимума спектра от амплитуды колебаний

Для сравнения приведен график оценки уровня шумоподобной помехи, присутствующей в видеопотоке. Эта оценка, обозначенная Bср, рассчитывалась, как среднее арифметическое значение отсчетов по участку спектра от 14 Гц до 15 Гц, то есть вдали от низкочастотных помех и частоты колебаний. Определенное по таким параметрам отношение сигнал/шум превысило 2 (6 дБ) уже при колебаниях с амплитудой 10 мкм и достигло более 10 (20 дБ) при амплитуде 50 мкм.

Исследование влияния уровня шумоподобных помех проводилось путем компьютерного моделирования. Сечения генерировались искусственно с помощью линейной интерполяции. На сечения накладывалась помеха в виде равномерно распределенного белого шума с заданным диапазоном градаций яркости. Далее искусственные сечения обрабатывались так же, как и полученные экспериментально.

На рис. 4 приведены зависимости максимумов усредненного спектра от амплитуды колебаний для трех значений диапазонов шума. Анализ зависимостей показывает, что начиная с некоторого значения амплитуды колебаний максимум спектрального пика приблизительно линейно зависит от амплитуды и в нем информативная составляющая преобладает над шумами. Для шума в диапазоне 60 градаций можно ориентировочно оценить минимально допустимую амплитуду колебаний в 0,3 пикселя. Для шума в диапазоне 30 градаций минимально допустимая амплитуда составляет величину порядка 0,2 пикселя. Следует отметить, что диапазон собственных шумов современных датчиков изображения редко достигает 30 градаций и обычно составляет 5…15 градаций.

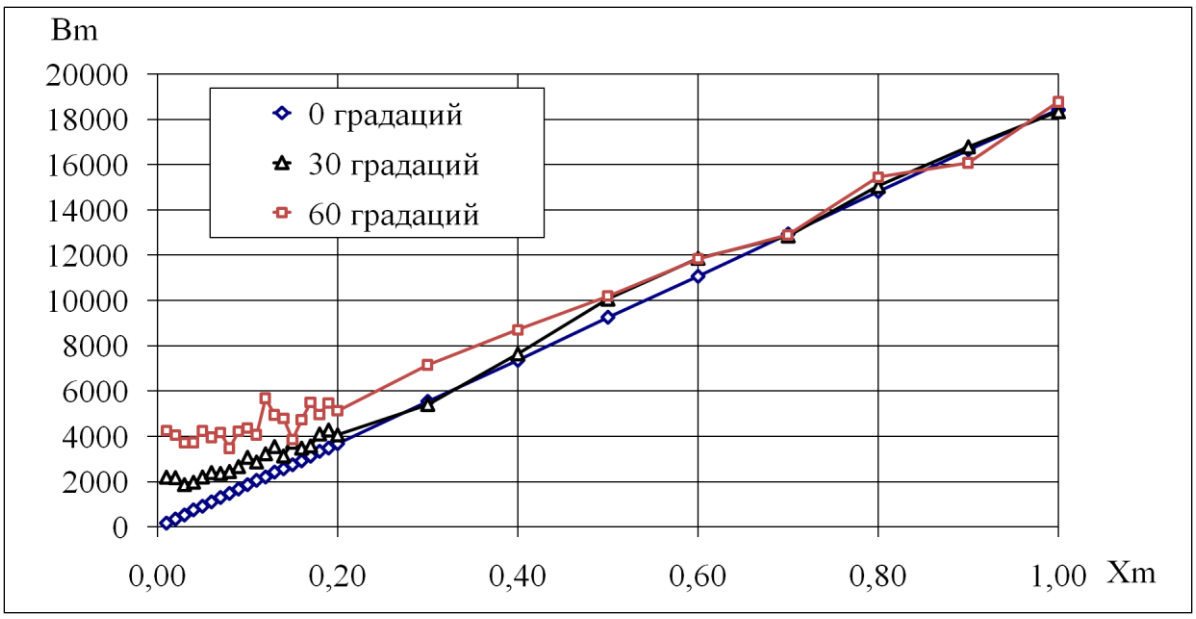


Рис. 4- Результаты компьютерного моделирования

Сравнение графиков усредненного спектра, полученных при амплитудах 0 и 0,01 мм, показало реальную возможность измерения частоты колебаний с амплитудами порядка 10 мкм. Интересно также то, что в этом случае амплитуда колебаний, выраженная в размерах пикселя, составила приблизительно 0,05.

Результаты работы позволяют сделать следующие выводы.

1. Подтверждена возможность использования метода в субпиксельном диапазоне амплитуд, по крайней мере до значений 0,1…0,2 пикселя.

2. При указанных выше условиях эксперимента достигается разрешающая способность по частоте 0,2 Гц в диапазоне примерно от 2 Гц до 12 Гц.

Список литературы

1. *Будилов В.Н.* Метод измерения частоты колебаний сооружений и конструкций с помощью цифровой видеокамеры / Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 1. – С. 91–94.

2. *Будилов В.Н., Дреманович П.В.* Метод обработки видеопотока для измерения частоты колебаний наблюдаемых объектов / Школа университетской науки: парадигма развития. – 2012. – № 2(6) . – Т. I. – С. 47–52.

3. *Будилов В.Н.* Метод бесконтактного измерения частоты вибраций с помощью цифрового датчика изображения / Наука – промышленности и сервису. – 2011. – № 6. – Ч. II. – С. 231–231.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., К.А. Стаценко к.т.н., Е.В. Бган

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, kstatsenko@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСАДКИ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ СФОРМИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В статье показана возможность использования опорного буртика для определения натяга бандажа на ободе колесного центра электровоза. Разработана методика оценки количественной величины натяга бандажа на ободе колесного центра при насажанных бандажах сформированных колесных пар электровозов.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, натяг, методика, измерение.*

Коллегия ОАО «Российские железные дороги» в феврале 2011 г. поставила задачи разработки и внедрения новых систем технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе показателей фактического состояния и прогнозирования остаточного ресурса узлов и оборудования с использованием современных диагностических устройств и методов неразрушающего контроля.

Для решения указанных задач на кафедре электрической тяги Уральского государственного университета путей сообщения разработана методика определения величины натяга бандажа на ободе колесного центра при насаженных бандажах [1, 2].

Проведена серия измерений параметров поверхностей волны, распространяющейся вдоль окружности опорного буртика до и после посадки бандажа с использованием ультразвукового дефектоскопа УД2-102. Опорный буртик практически не испытывает наклепа во время эксплуатации колесной пары и имеет достаточные размеры для того, чтобы получить необходимую точность измерений с помощью штатных приборов [3].

Метод оценки натяга основан на зависимости скорости распространения поверхностных волн (волн Рэлея) от напряженного состояния твердого тела [4]. При увеличении механических напряжений в бандажной стали, скорость распространения волн Рэлея уменьшается, что приводит к увеличению времени прохождения сигнала. Кроме этого, на время распространения поверхностных волн зависит изменение геометрических размеров бандажа при посадке на ободе колесного центра [5].

В результате анализа набора полученных сигналов для исследования выбраны импульсы, обусловленные поверхностными волнами, поскольку их скорость не подвержена изменению при различных значениях частоты [6]. При рассмотрении «стоп-кадров», полученных до и после насадки бандажей, установлена корреляционная зависимость между параметрами сигналов и натягом. Разработана программа обработки полученных данных [7].

Определим время t распространения волн Рэлея вдоль окружности буртика, фронт которых перпендикулярен плоскости бандажа, при нормальной температуре Θ_0 = 20 °С. Условную длину буртика будем считать l_0 = 3297 мм, а скорость УЗК V_0 = 3032 м/с [8]. Тогда:

$$t_0 = l_0 / V_0 + t_{ПЭП}, \quad (1)$$

где $t_{ПЭП}$ – время распространения УЗК в пьезоэлементе по паспорту, $t_{ПЭП}$ = 45 мкс.

Следует иметь в виду, что реальное $t_{ПЭП}$ несколько меньше указанного, поскольку путь ультразвука в пьезоэлементе при регистрации сквозных сигналов несколько меньше, чем при регистрации отраженных [9]. Из (1) t_0 = 1132 мкс. Существенным является учет зависимости скорости V УЗК от температуры. Анализируя данные известные для некоторых сталей, в расчетах остановимся на величине 1 м/(с·°С), тогда:

$$V = V_0 + 1\cdot(20 - \Theta), \quad (2)$$

где V – скорость поверхностных волн при температуре Θ.

Определим изменение времени Δt распространения сигнала при температуре Θ по сравнению с временем t_0. Очевидно, что:

$$\Delta t = \frac{l_0(1+\alpha\theta)}{V} - \frac{l_0}{V_0}, \quad (3)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения для стали, $\alpha = 1{,}2\cdot10^{-5}$ 1/°С.

Для облегчения учета температурного фактора в расчетах будем определять разность между временем t регистрации каждого импульса и значением:

$$t' = (1088 + \Delta t) \text{ мкс}, \quad (4)$$

где Δt – изменение времени распространения сквозных сигналов при изменении температуры от 20 °С до Θ; 1088 мкс – экспериментально полученное время, соответствующее началу серии первых сквозных импульсов, созданных поверхностной волной при 20 °С у ненасаженного бандажа.

Кроме температуры, время распространения сигнала в буртике зависит от его размеров и скорости УЗК [10], а эти два фактора связаны с натягом бандажа. Для ряда сталей установлено, что макро- и микронапряжения снижают скорость ультразвука в них [11]. Следовательно, при увеличении натяга оба фактора увеличивают время распространения сигнала. Поскольку трудно идентифицировать данный импульс при измерениях в разных условиях, анализировался их спектр в интервале от t' до $t' + 65$ мкс для первого сквозного сигнала и от ($2\,t' - t_{ПЭП}$) до ($2\,t' - t_{ПЭП} + 130$ мкс) для второго сквозного сигнала [12]. Функция T_1 (где J_t – интенсивность импульса в момент времени t):

$$T_1 = \frac{\int_{t'}^{t'+65} (t - t_1) J_t dt}{\int_{t'}^{t'+65} J_t dt}, \quad (5)$$

характеризует совокупность первых сквозных импульсов [13]. Ее значение не зависит от абсолютной величины интенсивностей импульсов, а определяется только их координатами и относительной величиной. T_1 определяет положение «центра тяжести» интенсивностей серии первых сквозных сигналов на оси времени по отношению к точке t'.

Функция $\Delta Z = T_1' - T_1$ (T_1, T_1' – параметры, определяющие положение «центра тяжести» интенсивностей, т. е. статистический момент интенсивностей серии первых сквозных сигналов до и после насадки) не зависит явно от времени прохождения сигнала через пьезоэлемент $t_{ПЭП}$ и должна находиться в корреляционной зависимости от натяга [14]. Поскольку подсчет интегралов от интенсивности на участках затруднен, для проверки этой гипотезы заменим интегрирование суммированием:

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (t - t_1) J_i}{\sum_{i=1}^{n} J_i}, \quad (6)$$

где n – число импульсов на данном интервале; t – координата импульса интенсивностью J_i.

По определению $N = \lg(J/J_0)$ (J_0 – пороговое значение интенсивности ультразвуковой волны, $J_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2, N – сила УЗК, дБ), тогда $J = 10^{(\frac{N}{10} - 12)}$. Амплитуды сигналов измеряются с точностью до 0,1 дБ либо с помощью дефектоскопа УД3-103, имеющего эту дискретность измерения, либо с помощью УД2-102, измеряя амплитуду в пикселях и определяя силу УЗК в децибелах по градировочной таблице.

Измерения времени регистрации импульсов производились в режиме «Лупа. Ручная метка», где погрешность измерения составляет 1,25 мкс (по информации полученной непосредственно у главного инженера фирмы «Пеленг»). В пределах указанных зон на частоте 400 кГц и усилением 80 дБ регистрировали 6 или 7 первых сквозных сигналов или

6 вторых. Измерялась амплитуда N и время регистрации сигнала t, по приведенным выше выражениям рассчитывались параметры T_1 и T_1'.

Выразим пороговое значение интенсивности через силу УЗК N получим:

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - t_0)10^{(\frac{N_i}{10}-12)}}{\sum_{i=1}^{n}10^{(\frac{N_i}{10}-12)}} \text{ и } T_1' = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i' - t_0)10^{(\frac{N_i'}{10}-12)}}{\sum_{i=1}^{n}10^{(\frac{N_i'}{10}-12)}} \quad (7)$$

В ходе обработки экспериментальных данных выяснилось, что наиболее вероятным является значение ΔZ = 7 мкс, и это существенно превышает погрешность измерений.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Методика контроля шероховатости посадочных поверхностей, обеспечивающая надежность соединения «бандаж-обод» колесных пар тягового подвижного состава // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 2. С. 5-14.

2. *Буйносов А.П., Стаценко К.А.* Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. 215 с.

3. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Определение натяга бандажа на ободе колесного центра локомотива // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3. С. 62-68.

4. *Буйносов А.П.* Влияние шероховатости посадочных поверхностей на надежность соединения «бандаж-обод» // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2010. № 1. С. 49-58.

5. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.

6. *Буйносов А.П.* Класс чистоты и надежность колесных пар локомотивов // Локомотив. 1995. № 6. С. 14-17.

7. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.

8. *Буйносов А.П.* Влияние шероховатости посадочных поверхностей на надежность соединения «бандаж-обод» и ресурс колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2009. № 3-4. С. 77-86.

9. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Тихонов В.А.* Совершенствование методики контроля шероховатости посадочной поверхности бандажей колесных пар локомотивов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2011. № 4. С. 23-30.

10. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Сергеев Н.И.* Определение натяга пары «бандаж-обод» с помощью ультразвуковых импульсов // Транспорт Урала. 2004. № 3. С. 31-37.

11. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.

12. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.

13. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.

14. *Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5(29). С. 57-60.

05.12.04

В.В. Воронин к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Южно-российский государственный университет
экономики и сервиса», voronin_sl@mail.ru

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА

В статье представлен новый метод реконструкции изображений на основе восстановления контуров и синтеза текстуры. Предложенный метод включает несколько этапов. На первом этапе производится предварительная обработка изображения характеристиками Лава для извлечения текстурных особенностей. На втором этапе для восстановления контуров границ используется сплайн интерполяция. После восстановления границ объектов текстура восстанавливается с помощью метода EBM, который заключается в поиске похожих блоков на исходном изображении и копировании их в область с отсутствующими пикселями. Для восстановления однородных областей используется метод Telea.

Ключевые слова: *текстурный анализ, обнаружение границ, реконструкция, сплайн интерполяции.*

При обработке и анализе изображений возникает задача автоматизированного восстановления областей с искаженными пикселями. Реконструкция находит свое приложение во многих областях обработки изображений, таких как ретуширование, восстановление фотографий, кодирование, компьютерное зрение и т.д. Большинство методов реконструкции изображений можно условно разделить на следующие группы: методы на основе решения дифференциальных уравнений в частных производных (PDE) [1,2]; методы на основе ортогональных преобразований [3,4]; методы на основе синтеза текстуры [5].

К главному недостатку известных методов относится неспособность восстанавливать изогнутые контуры, что существенно ограничивает область использования данных методов, которые в основном применимы при удалении царапин и небольших дефектов на структуре изображений. Так же следует отметить, что известные методы приводят к размытию текстуры и структуры при восстановлении больших областей с искаженными значениями пикселей. Другой важной проблемой является минимизация вычислительных затрат с возможностью реализации алгоритмов реконструкции на современных мобильных платформах.

Целью данной работы является уменьшение погрешности реконструкции изображений на основе алгоритма интерполяции границ кубическими сплайнами при восстановлении изображений.

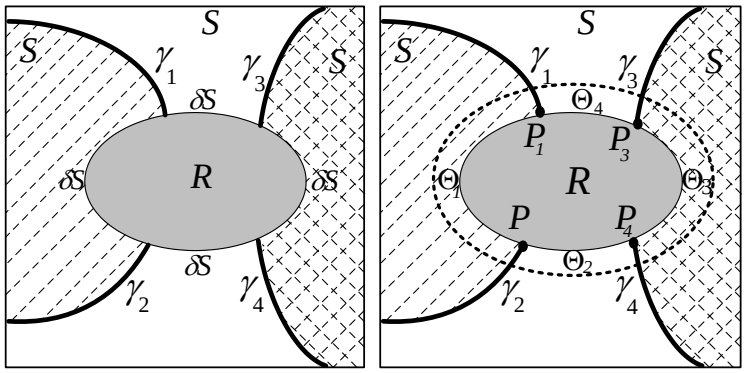
Упрощенная математическая модель изображения может быть представлена в виде:

$$Y_{i,j} = (1 - M_{i,j}) \cdot S_{i,j} + M_{i,j} \cdot R_{i,j},\ i = \overline{1, I},\ j = \overline{1, J},$$

где $Y_{i,j}$ – исходное изображение, $S_{i,j}$ – оригинальное (неискаженное) изображение, $M_{i,j}$ – бинарная маска области с искаженными значениями (1 – соответствует искаженным пикселям, 0 – соответствует не искаженным пикселям), $R_{i,j}$ – искаженные значения пикселей.

В общем случае любое изображение по локальным геометрическим особенностям можно разделить на несколько областей – текстура, однородность, контуры. На изображении присутствуют текстурные и однородные области, разделенные границами, которые могут иметь толщину несколько пикселей и иметь различную пространственную конфигурацию. На рисунке 1а представлена модель изображения, где область изображения Y схематично представлена в виде трех подобластей, которые представляют собой два типа текстуры и

однородную область, γ_1, γ_2 – границы первой области изображения с текстурой, γ_3, γ_4 – границы второй области изображения с текстурой, область R с искаженными значениями пикселей пересекает границы γ_1, γ_2, γ_3 и γ_4.



а) б)

Рис. 1 - Модель изображения

Предлагается алгоритм, который позволяет качественно восстанавливать как большие, так и малые области с искаженными значениями пикселей с минимизацией вычислительных затрат. Данный компромисс достигается за счет раздельного восстановления структуры, текстуры и однородных областей на изображениях.

Первый этап предлагаемого метода заключается в поиске соответствия между границами пересекающих область с отсутствующими пикселями $R_{i,j}$. Для данной цели используется кластеризация пикселей в области Θ на K кластеров с помощью метода K-средних. Все пиксели в области Θ предварительно обрабатываются энергетическими характеристиками Лава [6]. Для вычисления данных характеристик используется 9 масок размером 5 на 5. Для вычисления масок используются следующие вектора: $L5$ = [1 4 6 4 1], $E5$ = [-1 -2 0 2 1], $S5$ = [-1 0 2 0 -1], $R5$ = [1 -4 6 -4 1], $W5$ = [-1 2 0 -2 1]. Вектор L5 используется для вычисления взвешенного среднего, вектор E5 используется для детектирования границ, S5 используется для детектирования точек, R5 используется для обнаружения ряби и W5 используется для детектирования волн. Двумерные маски вычисляются путем умножения каждой из пар векторов.

Для каждого пикселя изображения получается результирующий вектор, который содержит информацию о текстурных характеристиках и состоит из 9 текстурных атрибутов. Пиксели вокруг области с отсутствующими пикселями кластеризуются на основе данных текстурных признаков, что позволяет определять соответствие между различными областями. Характеристики Лава так же позволяют классифицировать каждую область Θ_k на текстуру или однородность. На рисунке 1б представлен результат сегментации области Θ на три кластера (Θ_1 - первый кластер, Θ_3 - второй кластер, Θ_2 и Θ_4 - третий кластер).

Далее определяются границы каждой из полученных областей и интерполируются кубическими сплайнами каждая пар участков кривых с использованием понятий параметрической и геометрической непрерывности. По найденным парам вершин P_k и P_l и не нулевым векторам касательными $\mathbf{Q}_k$ и $\mathbf{Q}_l$ определяется кубическая кривая Эрмита (рис. 4) при помощи векторного уравнения, имеющего следующий вид [7]:

$$\mathbf{B}(t) = (1-3t^2+2t^2)P_k + t^2(3-2t)P_l + t(1-2t+t^2)\mathbf{Q}_k - t^2(1-t)\mathbf{Q}_l,\ 0 \le t \le 1.$$

Для выбора пикселя в области R для восстановления используется метод обхода Fast Marching method, основанный на решении уравнения Eikonal [8]. Таким образом, выбирается пиксель расположенный максимально близко к первоначальной границе δS. После восстановления значения пикселя, граница изменяется, значения T пересчитываются, и снова выбирается пиксель для восстановления.

Пиксели в каждой из классифицированных областей Θ_k восстанавливаются независимо друг от друга различными методами [9]. Для восстановления текстуры используется exemplar based method. Для реконструкции однородных областей используется метод Telea.

При восстановлении текстуры используется подход на основе синтеза текстуры с поиском похожих блоков. Предлагается осуществлять поиск похожих блоков на основе получения хеш структуры для всех блоков изображения для уменьшения вычислительных затрат. Перцептивный хеш часто используется в криптографии, в сравнении и поиске изображений в базе данных. В простейшем случае в роли перцептивного хеша используется среднее значение составляющих низких частот для каждого блока изображения (в работе используется размер блока равный 9 на 9).

Для восстанавливаемого блока и каждого блока из хеш таблицы вычисляется количество различных бит, то есть расстояние Хэмминга. При вычислении расстояния Хэмминга не учитываются биты для пикселей из области R. Далее определяется блок, для которого расстояние Хэмминга минимально. Восстанавливаемые пиксели копируются из найденного похожего блока.

Далее, для однородных областей используется метод Telea (TM) [9], который основан на локальной обработке и использует взвешенное среднее значений пикселей в некоторой области. При этом в качестве весов используется функция, зависящая от положения пикселя, локальных границ и расстояния до границы δS. Достоинством метода является высокая скорость работы.

В заключении можно сделать следующие выводы.

Предлагается алгоритм построения составной кривой с помощью кубических сплайнов при восстановлении границ объектов на изображении, который позволяет уменьшить погрешность реконструкции изображений. Предлагаемый метод позволяет эффективно восстанавливать текстуру и однородные области за счет раздельной обработки. Предлагается использовать вычисление перцептивного хеша при поиске похожих блоков, что позволяет уменьшить вычислительные затраты.

Список литературы

1. *Bertalmio, M., Bertozzi, A., Sapiro, G.,* “Navier-Stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting,” Hawaii: Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 213–226 (2001).

2. *Mumford, D., Shah, J.,* “Optimal approximations by piecewise smooth functions and associated variational problems,” Commun. PureAppl. Math. 42, 577–685 (1989).

3. *Kokaram, A.C., Morris, R.D., Fitzgerald, W.J., Rayner, P.J.,* “Interpolation of missing data in image sequences,” IEEE Trans. Image Process 4(11), 1509–1519 (1995).

4. *Park, J.W., Kim, J.W., Lee, S.U.,* “DCT coefficients recovery-based error concealment technique and its application to the MPEG-2 bit stream error,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol 7(6), 845–854 (1997).

5. *Criminisi, A., Perez, P., Toyama, K.,* “Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting,” IEEE Trans. Image Process 13(9), 28–34 (2004).

6. *K. Laws.* Rapid texture identification. In SPIE Vol. 238 Image Processing for Missile Guidance, pages 376-380, 1980.

7. *David F. Rogers, J. Alan Adams,* “Mathematical elements for computer graphics ,” McGraw-Hill Publishing Company, pp. 555 (2001).

8. *Sethian J.A.,* “Level Set Methods and Fast Marching Methods, Second edition,” Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press (1999).

9. *Воронин В.В.* Метод реконструкции изображений на основе интерполяции границ объектов кубическими сплайнами. Успехи современной радиоэлектроники, №6 – Москва: Изд-во Радиотехника, 2012. – С. 26– 30.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы
ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

05.12.04

В.В. Воронин к.т.н., В.И. Марчук д.т.н., В.А. Франц, Н.В. Гапон, Р.А. Сизякин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-российский государственный университет экономики и сервиса», voronin_sl@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА

Представлено исследование метода реконструкции изображений на основе интерполяции границ объектов кубическими сплайнами синтезе текстуры. Показано, что данный подход позволяет восстанавливать изогнутые границы в области с отсутствующими пикселями. Предложенный метод позволяет получить меньшую ошибку восстановления, чем известные методы восстановления изображений. Показана эффективность нового подхода на нескольких примерах, демонстрирующих эффективность алгоритма при удалении больших и малых объектов на тестовых изображениях.

Ключевые слова: *текстурный анализ, обнаружение границ, реконструкция, сплайн интерполяции.*

Задача реконструкции изображений является важным этапом в большинстве задач цифровой обработки изображений. Особенно данная проблема актуальна при автоматической обработке изображений, полученных в светочувствительных матрицах в цифровых фото- и видеокамерах и системах машинного зрения [1].

Разработан метод построения составной кривой с помощью кубических сплайнов при восстановлении границ объектов на изображении, который позволяет уменьшить погрешность реконструкции изображений. Предлагаемый метод позволяет эффективно восстанавливать текстуру и однородные области за счет раздельной обработки методом Телеа и методом на основе блоков подобия [2,3].

Целью данной работы является исследование метода реконструкции изображений с использованием текстурного анализа.

Алгоритм разработанного метода состоит из нескольких этапов:

1. Выделение текстурных характеристик

Для вычисления энергетических характеристик Лава используется 9 масок размером 5 на 5 на основе произведения векторов, которые описывают разные типы текстур.

2. Кластеризация и классификация областей на текстуру и однородность

Результирующий вектор содержит информацию о текстурных характеристиках и состоит из 9 текстурных атрибутов, которые позволяют определить соответствие между различными областями и их тип.

3. Восстановление границ с помощью сплайн интерполяции

Участки границ каждой из полученных областей интерполируются сплайнами с помощью кубической кривой Эрмита.

4. Выбор пикселя для восстановления с помощью метода fast marching method

Для выбора пикселя в области для восстановления используется метод обхода Fast Marching method, который позволяет выбирать пиксель расположенный максимально близко к первоначальной границе.

5. Получение хэш структуры

В предлагаемом методе для быстрого поиска похожих блоков используется вычисление перцептивного хеша. Такой подход позволяет получить структуру, которая содержит хеш всех блоков изображения.

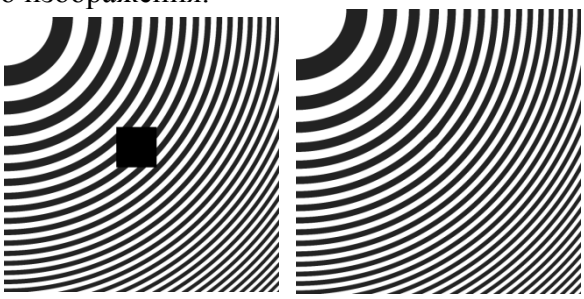
6. Восстановление текстуры на основе модифицированного метода exemplar based

При восстановлении текстуры используется подход на основе синтеза текстуры с поиском похожих блоков. Предлагается осуществлять поиск похожих блоков на основе получения хеш структуры для всех блоков изображения для уменьшения вычислительных затрат.

7. Восстановение однородных областей на основе метода Telea

Для восстановления однородных областей используется метод Telea (TM), который основан на локальной обработке и использует взвешенное среднее значений пикселей в некоторой области.

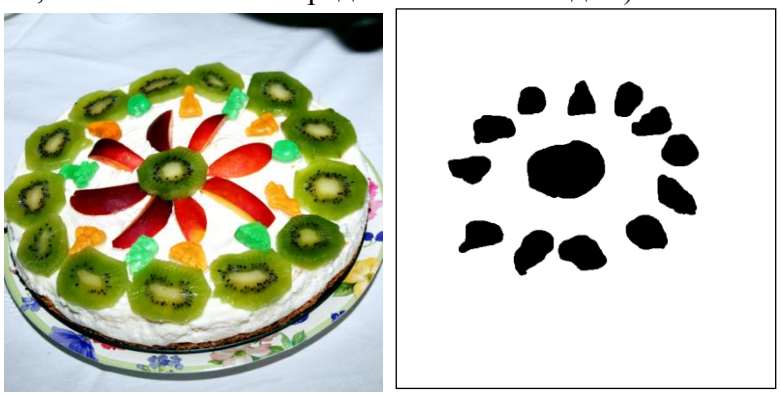
Для исследования предлагаемого метода восстановления изображений выбран фрагмент тестового изображения «Кривые». На данном изображении область с искаженными пикселями находится на пересечении нескольких границ (рис. 1а), которые необходимо экстраполировать, соединив противоположные участки границ. На рисунке 1б представлен результат восстановленного изображения.



а) б)

Рис. 1 - Результат восстановления тестового изображения «Кривые»

На рисунках 2-4 представлены примеры удаления объектов на изображениях «Торт», «Цветы», «Маяк» (а – исходное изображение; б – маска выделенного объекта для удаления, в – изображение, восстановленное методом TM, г - изображение, восстановленное методом EBM, д - изображение, восстановленное предложенным методом).



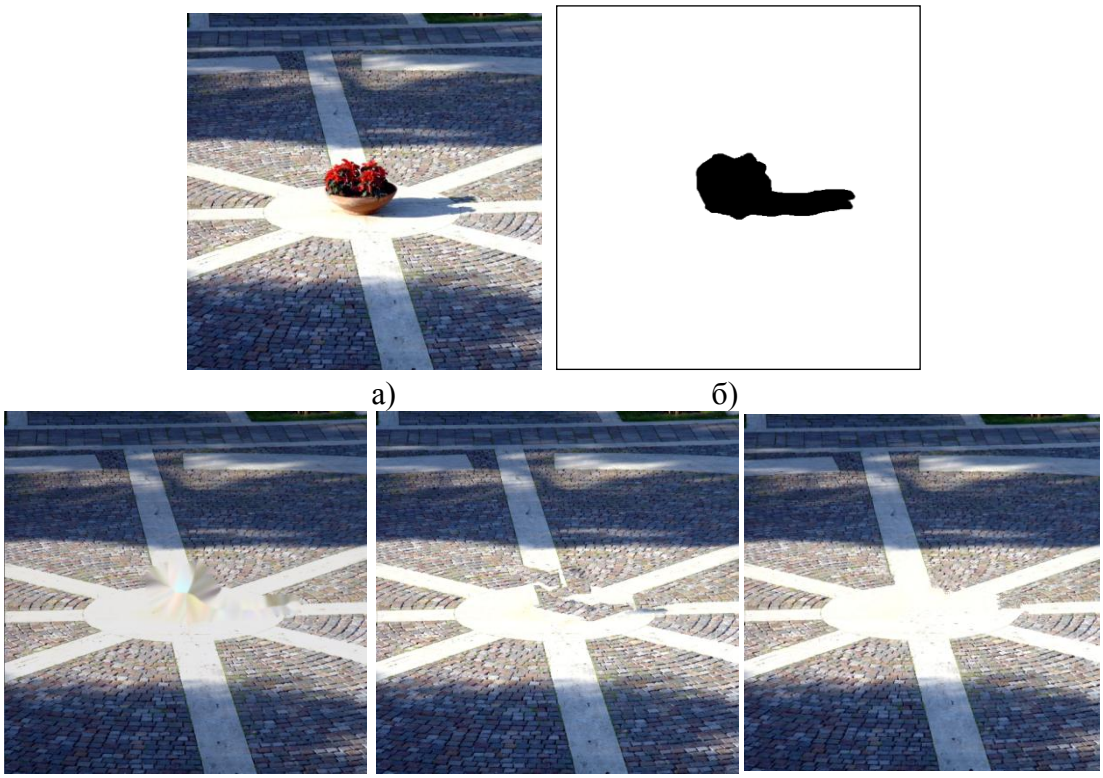
а) б)

в) г) д)

Рис. 2 - Изображение «Торт»

Главной особенностью тестового изображения «Торт» является то, что область для восстановления расположена на пересечении большого количества границ, которые нужно правильно сопоставить друг с другом. Предлагаемый метод позволяет правильно восстановить изображение. Метод ТМ приводит к размытию изображения, а ЕВМ не корректно восстанавливает изогнутые границы.

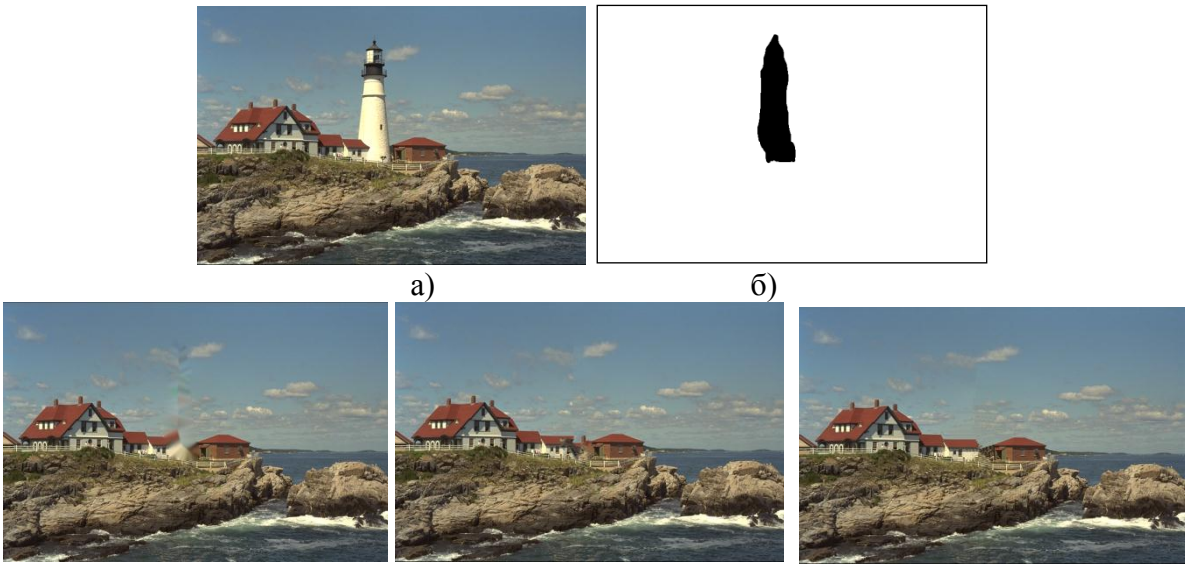
Особенностью тестового изображения «Цветы» является то, что область с корзиной расположена на пересечении границ, разделенных областями текстуры и однородностями. Анализ результатов реконструкции показывает, что предложенный метод правильно восстанавливает данные области.



а) б)

в) г) д)

Рис. 3 - Изображение «Цветы»



а) б)

в) г) д)

Рис. 4 - Изображение «Маяк»

Остальные примеры так же демонстрируют эффективность алгоритма восстановления изображений с различными геометрическими особенностями.

В заключении можно сделать следующие выводы.

Предлагается алгоритм построения составной кривой с помощью кубических сплайнов при восстановлении границ объектов на изображении, который позволяет уменьшить погрешность реконструкции изображений. Предлагаемый метод позволяет эффективно восстанавливать текстуру и однородные области за счет раздельной обработки методами Telea и exemplar based. Эффективность нового подхода показана на нескольких примерах, демонстрирующих эффективность алгоритма при восстановлении областей на тестовых изображениях с различными геометрическими особенностями.

Список литературы

1.Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач. Монография/под. Ред. В.И. Марчука – М.: Радиотехника, 2012. – 128 с. ISBN 978-5-88070-303-6.

2.*Voronin V.V., Marchuk V.I., Egiazarian K.O., Sherstobitov A.I.* Image inpainting using cubic spline-based edge reconstruction/Image Processing: Algorithms and Systems X; and Parallel Processing for Imaging Applications II, edited by Karen O. Egiazarian, Sos S. Agaian, Atanas P. Gotchev, Proceedings of SPIE Vol. 8295 (SPIE, Bellingham, WA 2012) 82950I.

3. *Воронин В.В., Марчук В.И., Гапон Н.В., Франц В.А.* Исследование метода реконструкции изображений на основе интерполяции границ объектов кубическими сплайнами// Успехи современной радиоэлектроники, №6 – Москва: Изд-во Радиотехника, 2012. – С. 31– 34.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы
ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

05.23.03

[1]В.Г. Гагарин д.т.н., [2]В.В. Козлов к.т.н., [3]К.И. Лушин, [4]П.П. Пастушков

[1]ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
кафедра отопления и вентиляции,
Москва, gagarinvg@yandex.ru

[2]Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук,
Москва, gagarinvg@yandex.ru

[3]ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, kirilllushin@gmail.com

[4]Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук,
Москва, pavel-one@mail.ru

О ПРИМЕНЕНИИ ВЕТРОГИДРОЗАЩИТНЫХ МЕМБРАН В НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Проанализированы положительные и отрицательные стороны применения ветрозощитных мембран в навесных фасадных системах (НФС) в основном с точки зрения строительной теплофизики. Указаны условия при которых следует выполнять монтаж НФС без ветрозащитных мембран. В частности, должна быть исключена значимая эмиссия волокон из минераловатного утеплителя и снижено влияние продольной фильтрации на теплозащитные свойства НФС.

Ключевые слова: *навесные фасадные системы, вентилируемая воздушная прослойка, ветрогидрозащитная мембрана, эмиссия волокон из минеральной ваты, продольная фильтрация воздуха.*

Введение.

Вопросы применения в НФС ветрогидрозащитных мембран (пленок) рассматривались [1], однако остаются дискуссионными в связи с недостаточным распространение в среде строителей методов теоретических исследований НФС с вентилируемой воздушной прослойкой.

В данной статье перечислены и кратко рассмотрены положительные и отрицательные стороны применения ветрозащитных пленок в вентилируемых фасадах с точки зрения строительной теплофизики. Часть исследований выполнены специалистами ФГБОУ ВПО «МГСУ» и НИИСФ РААСН в рамках выполнения работ по госконтракту ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

1. Отрицательные последствия применения ветровлагозащитных пленок.

1. *Ветровлагозащитная пленка может перекрывать воздушную прослойку, значительно уменьшая ее толщину*. В результате движение воздуха в прослойке не будет осуществляться или будет очень слабым, а стало быть, эффект удаления водяного пара из конструкции, ради которого эта прослойка предусматривается, будет отсутствовать. Причем характерно, что подобная ошибка допускается не только по вине монтажников. Нередко она бывает заложена в систему на стадии проектирования.

Несущие функции в навесных вентилируемых фасадах выполняет металлический каркас (подконструкция), образованный горизонтальными и вертикальными направляющими. Очень часто в таких системах ветрозащитная пленка устанавливается не поверх утеплителя,

что было бы логично, а между направляющими. В результате толщина вентилируемой прослойки между пленкой и облицовкой становится равной толщине вертикальной направляющей и составляет не более 25 мм, что недостаточно для надлежащей работы системы. То есть, в данном случае допускаются две ошибки: во-первых, пленка монтируется не вплотную к утеплителю, и, во-вторых, происходит уменьшение толщины вентилируемой воздушной прослойки. Оба отмеченных обстоятельства снижают эффективность удаления влаги с поверхности утеплителя.

2. *Применение ветрозащитной пленки может привести к переувлажнению утеплителя фасадной конструкции*. Это происходит в тех случаях, когда по причине недостаточной компетентности производителей фасадных работ в качестве ветрозащиты применяются пленки с повышенным сопротивлением паропроницанию. Многие строители не имеют представления о физических процессах, происходящих в вентилируемом фасаде, и даже не подозревают о том, что конструкция увлажняется не влагой наружного воздуха, а вследствие переноса пара из внутреннего воздуха помещения через конструкцию в наружные слои утеплителя. Поэтому устанавливают вместо ветрозащиты всевозможные пленки иногда с большим значением сопротивления паропроницанию, вплоть до полиэтиленовой пленки. Например, в г. Якутске построено много фасадов, в которых в качестве ветрогидрозащиты использована полиэтиленовая пленка [2]. При проведении натурных исследований этих фасадов в зимний период «установлено наличие льда между полиэтиленовой пленкой и утеплителем» [2]. Увлажнение наружного слоя утеплителя в зимний период приводит к снижению его долговечности. Проблема усугубляется еще и тем, что данные по сопротивлению паропроницанию многих ветрозащитных материалов отсутствуют.

3. *Ветровлагозащитная пленка может использоваться для умышленного сокрытия дефектов теплоизоляционного слоя*. В этом случае в процессе эксплуатации фасада слой утеплителя может быть нарушен и соответственно существенно снизится теплозащита здания.

4. *Ветровлагозащитные пленки являются изделиями на полимерной основе и относятся к материалам группы горючести Г2, при воздействии на них открытым огнем происходит их возгорание с вытекающими последствиями; при возникновении пожара они могут способствовать его развитию.* Какую опасность могут представлять горючие компоненты фасадных систем, показали пожары, произошедшие в последние годы. Например, возгорание пленки «Тайвек» при проведении сварочных работ на 17 этаже здания со смонтированным фасадом привело к распространению огня до первого этажа и к многочисленным повреждениям фасада. Практически невозможно исключить применения открытого огня при проведении ряда работ на здании с уже смонтированным фасадом. Это кровельные работы на крыше, сварочные работы на балконах и лоджиях, наплавление гидроизоляции на отмостке здания и т.д. Поэтому практически нельзя исключить возможность возгорания ветрозащитной пленки.

2. Положительное влияние ветрозощитных пленок на эксплуатационные свойства стен с НФС.

В литературе отмечаются нижеследующие положительные следствия применения ветрозощитных пленок.

1. Ветрозащитная пленка предотвращает эмиссию волокон из утеплителя [3]. В результате эмиссии волокон снижается долговечность минераловатной плиты. Однако, более важным представляются экологические последствия того, что в воздухе окажутся частицы волокон минеральной ваты, так называемой «респираторной пыли». В СМИ неоднократно появлялись сообщения об экологической опасности минеральной ваты [4]. Результаты многочисленных исследований по вопросам канцерогенной опасности минеральной ваты собраны в [5].

Если эмиссия волокон имеет место, то установка ветрозащитной пленки, конечно же, предотвратит или снизит указанное явление.

2. Ветрозащитная пленка позволяет предотвратить фильтрацию воздуха и тем самым способствуют сохранению теплозащитных свойств конструкции. Фильтрация воздуха в ограждающих конструкциях может быть поперечной и продольной. В свою очередь поперечная фильтрация делится на инфильтрацию (снаружи внутрь помещения) и эксфильтрацию (изнутри помещения наружу). Именно эти виды фильтрации и должна предотвращать ветрозащитная пленка. Если при помощи устройства ветрозащитной пленки фильтрация ликвидирована, то тем самым достигнуто сохранение теплозащитных свойств конструкции.

3. Ветрозащитная пленка обеспечивает сохранность утеплителя в период монтажа. Часто во время монтажа вентилируемого фасада имеет место значительный временной перерыв после установки утеплителя и подконструкции и до установки облицовки. Иногда этот перерыв достигает нескольких месяцев. В течение такого большого времени утеплитель может быть существенно поврежден вследствие климатических воздействий. В таких случаях установка ветрозащитной пленки должна защитить утеплитель от повреждений.

4. Ветрозащитная пленка защищает утеплитель от увлажнения атмосферными осадками в период эксплуатации объекта. Атмосферные осадки, попадающие в воздушную прослойку, могут быть жидкими (дождевая вода) или твердыми (снег). Если дождь сопровождается ветром, то имеет место «косой дождь». Именно увлажнение косыми дождями может представлять опасность для сохранности эксплуатационных свойств утеплителя. Если ветрозащитная пленка предотвращает утеплитель от увлажнения жидкой влагой в случае ее попадания на поверхность, то эту пленку можно называть ветровлагозащитной.

3. Выводы.

В настоящее время применение ветрозащитных покрытий в НФС обосновано недостаточно. С другой стороны известны объекты с фасадами, возведенными без ветровлагозащитной пленки, и объекты эти по сей день нормально функционируют.

Представляется целесообразным следующий порядок решения вопроса об использовании ветрозащитных пленок.

- выделить участки фасада, где следует устанавливать ветрозащиту не обусловленную теплофизическими требованиями. Например, по углам зданий, безусловно, надо ставить ветрозащитное покрытие.
- на остальных участках при проектировании фасадов необходимость устройства ветрозащиты следует проверять теплофизическими расчетами. При этом можно использовать приведенные выше критерии.

Отсутствие ветрозащиты на некоторых участках можно компенсировать толщиной утеплителя. Конечно, это увеличит стоимость системы, но не намного, поскольку не придется платить за саму пленку и работы по ее монтажу. Именно таким путем действует, например, ООО «Диат-2000» при проектировании своих фасадов.

Следует подчеркнуть, что важнейшим условием возможности монтажа НФС без ветрозащитных пленок является определение возможной эмиссии волокон из минераловатных плит.

Статья подготовлена в рамках выполнения ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Список литературы

1. *Гагарин В.Г., Козлов В.В.* Достоинства и недостатки применения ветрогидрозащитных пленок (мембран) в вентилируемых фасадах. // Стройпрофиль. 2008, №1, Стр. 84-88.
2. *Корнилов Т.А., Рахматуллин А.А.* О состоянии вентилируемых фасадных систем в Якутии. // Жилищное строительство. 2007, №6, Стр.11-12.
3. *Нелидов А.* Защита минваты. Ограничение факторов, разрушающих утеплитель. // Технологии строительства. 2007, №2, стр. 57-58.
4. «Факторы риска»: Причиной рака может стать даже минеральная вата. // Аргументы и факты, Северо-запад. 03 марта 2011.
5. World health organization. International agency for research on cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Man-made Vitreous Fibres. Volume 81. 2002: Lyon, France.

05.17.07

С.С. Галата, С.Е. Уханов к.х.н., В.Г. Рябов д.т.н., К.А. Сибиряков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра Химической технологии топлива и углеродных материалов,
Пермь, galss@bk.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ ИОННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

В работе представлены результаты определения критической концентрации мицеллообразования ионного поверхностно-активного вещества в 10% мас. растворе щелочи NaOH статическим методом Вильгельми (метод пластинки).

Ключевые слова: *Меркаптаны, щелочная экстракция, ПАВ, критическая концентрация мицеллообразования.*

Одним из наименее энергоемких и технологически выгодных методов очистки нефтегазового сырья от меркаптанов является окислительная демеркаптанизация, уже более 40 лет успешно применяемая для очистки бензиновых и керосиновых дистиллятов, а также газоконденсатов. Метод основан на способности меркаптанов окисляться с образованием дисульфидов:

$$2\ RSH + 0{,}5\ O_2 \rightarrow RSSR + H_2O$$

Для проведения процесса окисления с достаточно высокой скоростью необходимо присутствие щелочи, которая превращает молекулу меркаптана в меркаптид натрия, обладающий более высокой реакционной способностью и хорошей растворимостью в воде.

$$RSH + NaOH \rightarrow RSNa + H_2O$$

В ходе последующей обработки щелочного раствора кислородсодержащим газом происходит окисление меркаптидов до дисульфидов с одновременной регенерацией щелочи:

$$2RSNa + O{,}5\ O_2 + H_2O \rightarrow RSSR + 2NaOH$$

Как правило, эту реакцию проводят в присутствии катализаторов, в качестве которых часто используют оксиды и соли переходных металлов, хелатные комплексы на основе двухосновных кислот и фталоцианиновые комплексы металлов.

Однако данная технология не свободна от недостатков. Наиболее узким ее местом является щелочная экстракция меркаптанов. Результативность щелочной экстракции быстро падает с ростом молекулярной массы меркаптанов, что связано с понижением растворимости меркаптанов в воде с ростом углеводородного радикала [1, 2]. В работе [3] отмечалось, что при обработке нефти щелочным раствором из нее практически полностью удалялись сероводород, метил- и этилмеркаптан, а следующие за ними изо- и н-пропилмеркаптаны удалялись не более, чем на 70%. Более тяжелые бутилмеркаптаны в условиях щелочной очистки удалялись всего на 6-20% от их исходного содержания в нефти.

Поскольку растворимость в воде большинства меркаптанов, кроме низкомолекулярных, ничтожно мала, процесс их щелочной экстракции протекает в гетерогенной среде, а именно, на границе контакта водной и углеводородной фаз.

Увеличить поверхность контакта фаз и улучшить ее диффузионные характеристики можно введением в систему поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые играли бы роль эмульгаторов или межфазных катализаторов. [4-6]. Проведенные нами предварительные эксперименты по демеркаптанизации углеводородного сырья раствором щелочи NaOH с добавлением в систему различных ПАВ показали перспективность этого направления [7].

Вместе с тем, для успешного продолжения экспериментальных исследований предстояло

решить ряд теоретических и практических задач, которые позволили бы более осознанно подойти как к выбору ПАВ, наиболее подходящего для применения в процессе демеркаптанизации, так и к определению его наиболее оптимальной концентрации в щелочном растворе.

Теоретические представления о свойствах и поведении ПАВ в различных средах позволяют избежать ошибок как при выборе ПАВ, так и при оценке его воздействия на тот или иной процесс или систему. Известно, что коллоидно-растворимые ПАВ проявляют наибольшую активность в концентрациях, равных или превышающих их критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). Собственно говоря, именно способность к образованию мицелл выше ККМ и солюбилизация компонентов гетерогенной системы и определили широчайшее применение коллоидно-растворимых ПАВ в самых разных отраслях человеческой деятельности. Потому, зная ККМ того или иного ПАВ, можно с высокой долей достоверности прогнозировать характер его воздействия на процессы в гетерогенной системах. Значение ККМ является, таким образом, важнейшей характеристикой ПАВ.

В настоящее время в справочной литературе приводятся значения ККМ нескольких тысяч ПАВ. Все эти определения проводились в водных растворах ПАВ, не содержащих примесей. В то же время в реальных системах поверхностно-активные вещества, как правило, работают в растворах солей, кислот или оснований, т.е. в условиях, когда на процесс мицеллообразования могут оказывать влияние как величина pH, так и посторонние ионы. В растворах ионных ПАВ присутствие посторонних электролитов может вызвать осаждение ПАВ в виде нерастворимых солей или комплексных соединений, спровоцировать полиморфизм мицелл (т.е. превращение сферических мицелл в эллипсоидальные, цилиндрические, пластинчатые и другие структуры) при концентрации ПАВ ниже $ККМ_2$, повлиять на число агрегации, строение двойного электрического слоя и т.д.

Существует много методов определения ККМ. Все они основаны на резком изменении физико-химических свойств растворов ПАВ (светопропускания, показателя преломления, осмотического давления, поверхностного натяжения, электропроводности и других) при переходе от молекулярного раствора к мицеллярному. Концентрации ПАВ, при которых наблюдаются перегибы на графиках "свойство-состав", соответствуют ККМ.

Для определения ККМ по изменению поверхностного натяжения растворов ПАВ часто используются методы максимального давления в газовом пузырьке, отрыва кольца или уравновешивания пластины, измерения объема или формы висящей или лежащей капли, взвешивания капель и др.

Исследования показывают, что наиболее точные результаты получаются при измерении поверхностного натяжения растворов ПАВ методом уравновешивания пластины. Достаточно хорошо воспроизводятся результаты, найденные сталагмометрическим методом. Менее точные, но достаточно корректные данные получаются при использовании метода отрыва кольца. Плохо воспроизводятся результаты чисто динамических методов [8].

Нами была определена критическая концентрация мицеллообразования одного из ионных ПАВ в 10%-ном водном растворе щелочи NaOH путем измерения на приборе «Тензиометр K100» поверхностного натяжения щелочных растворов ПАВ методом уравновешивания пластинки. Результаты измерений представлены на рис. 1.

Как видно из графика, критическая концентрация мицеллообразования данного ПАВ составила 0,105 мас.%, отсюда следует, что наибольшее влияние на процесс щелочной экстракции меркаптанов данное ПАВ должно оказывать в области этой концентрации.

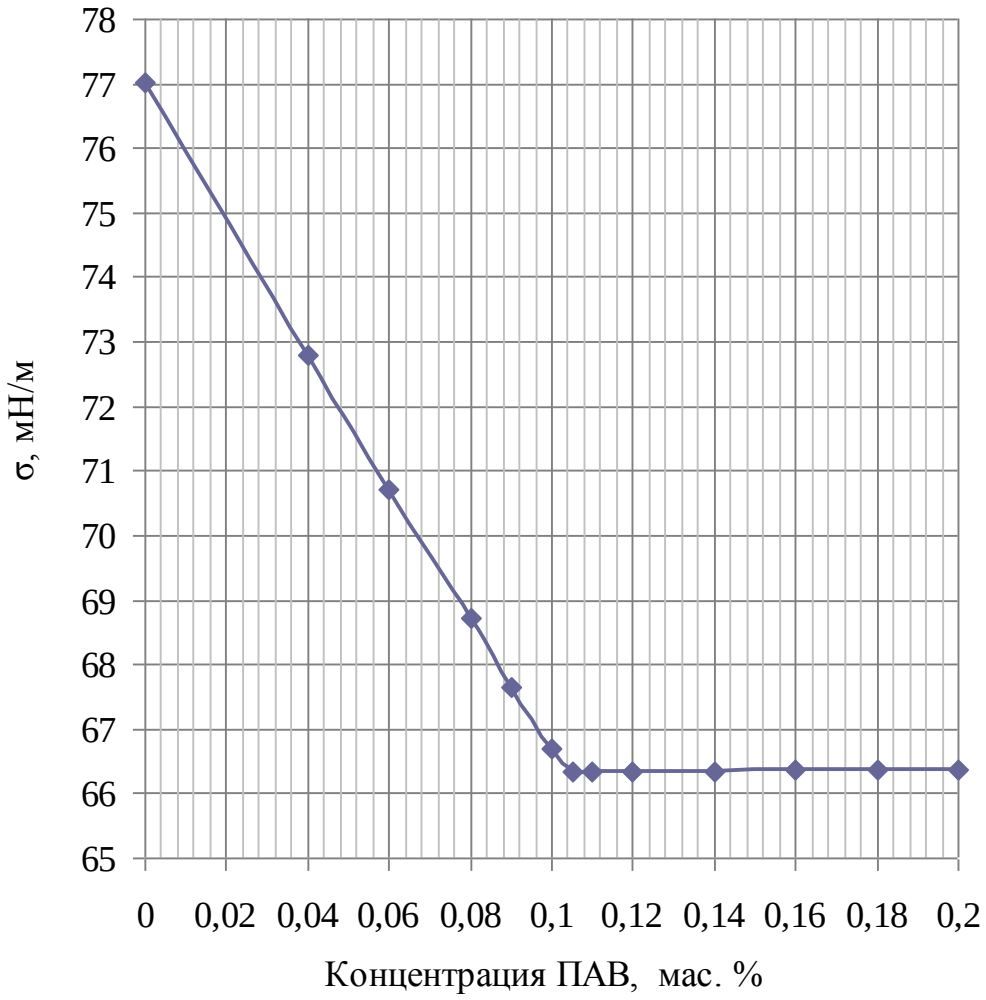


Рис. 1 – Зависимость поверхностного натяжения растворов ПАВ в 10% щелочи NaOH от концентрации ПАВ

Список литературы

1. Технология переработки природного газа и конденсата. Справочник под ред. Мурина В.И., Кисленко Н.Н. и Суркова Ю.В. –М.: Недра, 2002. -517 с.
2. *Л.Физер, М.Физер.* Органическая химия. Углубленный курс. Том 1. Перевод с английского под ред. д.х.н. Н.С.Вульфсона. –М.: Химия, 1966. -680 с.
3. *Мазгаров А.М., Вильданов А.Ф. и Копылов Ю.П.* Ресурсы меркаптансодержащих нефтей и газовых конденсатов и особенности их переработки // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. –1999. – Т.43. –№ 3-4. –С. 67-71.
4. *Рябов В.Г., Свириденко А.Л., Кудинов А.В. и др.* Промотирование серной кислоты поверхностно-активными веществами в процессе алкилирования // Химия и технология топлив и масел. –1992. –№10. – С. 2–4.
5. *Токарев В.В., Юнусов Ш.М., Рябов В.Г. и.др.* Промышленный опыт получения высокоиндексных масел с применением ПАВ //Нефтепереработка и нефтехимия. – 1994. – №4. –С. 23–25.
6. *Тархов Л.Г., Рябов В.Г., Шеститко М.Ю., Нуждин И.А.* Подбор поверхностно-активных веществ с целью оптимизации получения этилбензола методом жидкофазного алкилирования бензола этиленом // Проблемы и перспективы развития химической промышленности на Западном Урале: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ПГТУ. –2005. –С. 260–267.
7. *Уханов С.Е., Рябов В.Г., Галата С.С.* Применение поверхностно-активных веществ в процессе демеркаптанизации углеводородного сырья // Научно технологический журнал технологии нефти и газа. –2011. –№2. –С. 21-24.
8. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. – М.: Химия, 1988. –464 с.

05.12.14

П.Н. Герасимов, Я.И. Корнев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников к.т.н.

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
Научно-исследовательский центр сверхширокополосных технологий,
Москва, p.n.gerasimov@gmail.com, kornev.uwb@gmail.com, ignel2003@mail.ru, oda@mai.ru

ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА

Рассмотрены задача оценки психофизиологического состояния человека по измерениям частот дыхания и сердечной деятельности человека при помощи сверхширокополосного радиолокатора. Описаны работа радиолокатора и процесс обработки его сигналов. По результатам экспериментальных измерений выделены основные проблемы обработки сигналов радиолокатора, предложены методы их решения.

Ключевые слова: *сверхширокополосный радиолокатор, биорадиолокация, цифровая обработка сигналов.*

Одной из задач биорадиолокации [1] является оценка психофизиологического состояния человека, которую можно произвести на основании частоты дыхания и частоты сердечных сокращений (ЧСС). Эти параметры могут быть получены как контактными, так и бесконтактными методами. Одним из недостатков контактных методов является то, что при их использовании возникает физический дискомфорт из-за наличия датчиков, а это в свою очередь влияет на истинность результатов измерений. При бесконтактном же методе такой проблемы не возникает, что позволяет повысить точность оценки психофизиологического состояния испытуемого. Плюсом бесконтактных методов является так же тот факт, что испытуемый может не знать об производимых измерениях.

Одним из способов бесконтактного измерения частот дыхания и сердечных сокращений является построение радиолокационной траектории движения грудной клетки человека [2], которая позволяет извлечь информацию об искомых частотах.

Для решения поставленной задачи измерения частоты дыхания и ЧСС использован сверхширокополосный (СШП) радиолокатор, способный наблюдать небольшие перемещения объектов с высокой точностью на расстояниях в единицы и десятки метров [3].

Рассмотрим принцип работы СШП радиолокатора, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

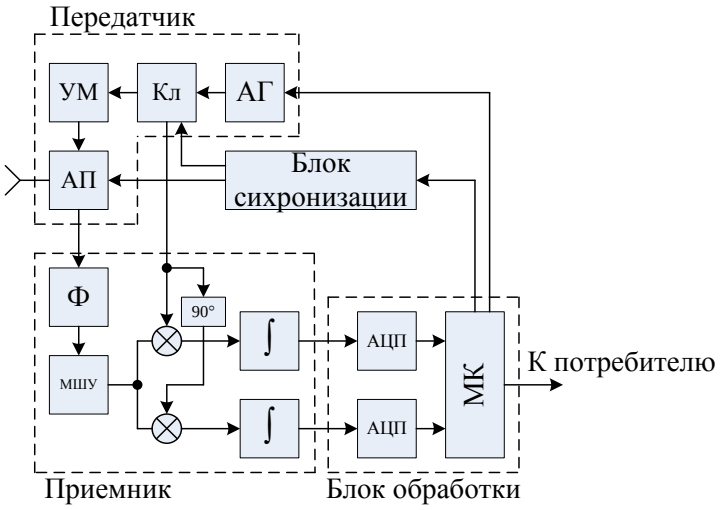


Рис. 1- Структурная схема СШП радиолокатора

Радиолокатор состоит из четырех основных блоков: блока синхронизации, передатчика, приемника и блока обработки.

Блок синхронизации отвечает за временное согласование работы приемного и передающего трактов.

Блок передатчика, в который входят автогенератор «АГ», ключ «Кл», усилитель мощности «УМ» и антенного переключателя «АП», формирует и подает на антенну короткий радиоимпульс.

Блок приемника состоит из полосового фильтра «Ф», малошумящего усилителя «МШУ» и коррелятора, состоящего из квадратурного смесителя и интеграторов. Использование в приемнике квадратурных каналов и соответствующей цифровой обработки, позволяет восстановить траекторию и параметры движения объекта, совершающего возвратно-поступательное движение.

Блок обработки, состоящий из аналого-цифровых преобразователей «АЦП» и микроконтроллера «МК», осуществляет управление блоками прибора, производит оцифровку сигнала, поступающего с аналоговой части приемника, обработку сигнала, вывод результата обработки на цифровой дисплей радиолокатора или к внешнему потребителю.

Рассмотренный СШП радиолокатор использован в серии экспериментальных измерений, в процессе которых проверялась принципиальная возможность определения частот дыхания и сердцебиения по восстановленной траектории движения, а также были выявлены некоторые особенности обработки сигналов, отраженных от грудной клетки человека.

Испытуемый человек располагался в положении сидя на расстоянии 1 м напротив антенны радиолокатора так, чтобы диаграмма направленности облучала по возможности только грудную клетку испытуемого. Данные квадратурных каналов радиолокатора записывались в файл для дальнейшего анализа и обработки.

В результате анализа экспериментальных данных был выявлен ряд особенностей, возникающих при обработке сигнала, отраженного от грудной клетки человека.

1. Во-первых, при восстановлении траектории движения грудной клетки человека необходимо учитывать изменение сигналов при их прохождении через нелинейный элемент - фазовый детектор (коррелятор) [4].

Для учета нелинейности, возникающей из-за фазового детектора, использовалось объединение информация обоих квадратурных каналов. При объединении информации необходимо использовать специальные алгоритмы восстановления траектории [2], которые учитывают нелинейность. В результате выделяется траектория движения грудной клетки, возникающая при дыхании и сердцебиении, из которой можно получить оценки значений частот дыхания и сердечной деятельности человека. На рисунке 2 представлены оцифрованные напряжения квадратурных каналов (а) и результат работы алгоритма объединения информации (б).

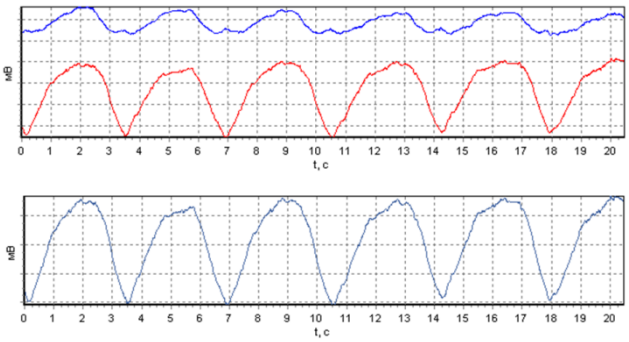


Рис. 2- Оцифрованные напряжения квадратурных каналов приемника (а) и результат работы алгоритма восстановления траектории движения грудной клетки (б)

2. Во-вторых, при радиолокационном измерении частоты сердечных сокращений человека [1] в диаграмму направленности антенны помимо грудной клетки попадают частично руки,

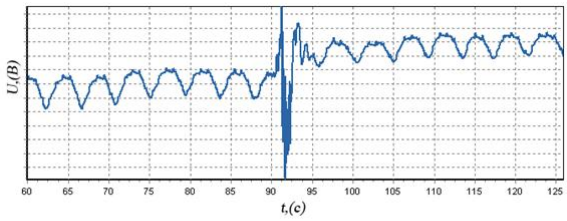
голова и живота. Любое их движение в обозреваемом пространстве обнаруживается радиолокатором и является помехой, которую необходимо подавливать.

Ситуация, в которой возникают помехи из-за движений рук или торса можно разделить на два типа - кратковременные и продолжительные помехи. В зависимости от типа помехи используются различные методы их подавления.

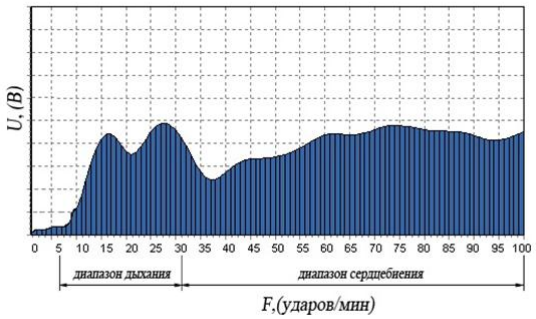
Типичный пример восстановленной траектории движения грудной клетки при кратковременной помехе (в данном случае взмах руки) представлен на рисунке 3.

Как можно видеть по рисунку 3(б), наличие кратковременной помехи приводит к невозможности определения частоты дыхания и ЧСС по спектру восстановленной траектории движения грудной клетки.

Для уменьшения влияния кратковременных помех можно использовать как аппаратные, так и программные средства.



(а)



(б)

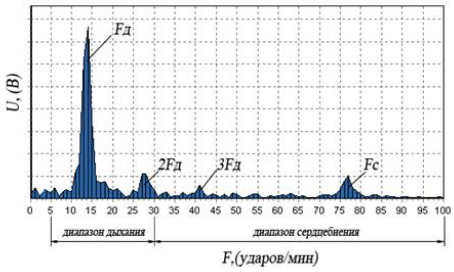
Рис. 3- Восстановленная траектория грудной клетки с помехой, вызванной взмахом руки, во временном (а) и частотном (б) представлении.

На аппаратном уровне можно порекомендовать реализовать в радиолокаторе известный метод подавления импульсных помех – «широкая полоса-усилитель-узкая полоса» (ШОУ) [5].

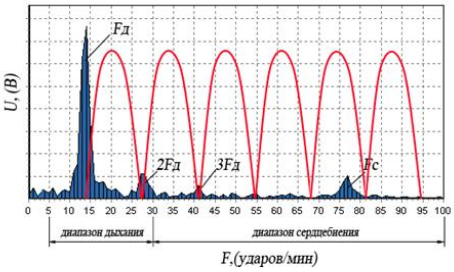
На программном уровне эффективным способом снижения влияния кратковременных помех на результаты измерения оказалось увеличение времени скользящего окна для обработки информации, что соответствует увеличению анализируемого временного отрезка, по которому производится расчет искомых частот. Но для реализации данного способа требуются большие вычислительные мощности.

К продолжительным помехам, например, можно отнести длительные покачивания телом, движение челюстей при жевании и т.п. Сигналы от таких помех представляют собой квазипериодические колебания, которые отчетливо могут быть видны, если рассмотреть спектральное представление восстановленной траектории движения. Поэтому эффективным способом борьбы с продолжительными помехами является цифровая фильтрация.

3. В-третьих, определение частоты сердечных сокращений осложняется наличием гармоник дыхания в частотном диапазоне сердечной деятельности. На рисунке 4а представлено спектральное представление восстановленной траектории движения грудной клетки человека, где Fд – частота дыхания, Fс – частота сердцебиения, 2Fд, 3Fд – кратные гармоники.



(а)



(б)

Рис. 3- Восстановленная траектория грудной клетки гармониками дыхания (а) и наложенной характеристикой гребенчатого фильтра (б).

Частота дыхания определяется максимальной гармоникой в диапазоне дыхания. Определить частоту сердцебиения аналогично частоте дыхания не представляется возможным даже в отсутствии помех, из-за наличия кратных гармоник дыхания в диапазоне сердцебиения, уровень которых сравним с уровнем гармоники частоты сердцебиения или даже превышает ее. Для борьбы с ними предложено использовать адаптивные гребенчатые фильтры [6], пример работы такого фильтра представлен на рисунке 4б. Но при использовании адаптивных гребенчатых фильтров может создаться ситуация, когда частота сердечных сокращений кратна частоте дыхания. В этом случае произойдет подавление полезного сигнала с частотой сердечных сокращений, с чем приходится мириться. В принципе такой метод применим, так как частота сердечных сокращений как показали эксперименты величина непостоянная, и изменяется с течением времени. Поэтому даже если произошло подавление полезного сигнала с частотой сердцебиения в определенный момент времени, то через небольшой промежуток времени значение частоты сердечной деятельности изменится и перестанет подавляться гребенчатым фильтром, что позволит ее измерить.

Работа, в результате которой были получены представленные результаты, проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта №07.524.11.4011.

Список литературы

1. *Бугаев А.С., Ивашов С.И., Имморeев И.Я.* «Биорадиолокация» - М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2010 г. С.8-9, 202-225.
2. *Охотников Д.А.* «Селекция движущихся целей, совершающих возвратно-поступательное движение». Успехи современной радиоэлектроники, №10, 2011 г. С. 52-64.
3. *Ширман Я.Д.* Радиолокационные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и дом.– М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.: ил. С. 301.
4. *I. Immoreev.* «Radar Observation of Objects, which Fulfill Back-and-Forth Motion». В книге «Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics 9». Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London, 2010. С. 400-403.
5. *В.В. Палшков.* Радиоприемные устройства. - М., 1984.- С. 255-260.
6. *Лайонс Р.* Цифровая обработка сигналов, 2-е изд. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. –656 с.: ил. С. 289, 615.

05.02.13

В.В. Глебов к.т.н., Ю.В. Присяжнюк к.т.н., Л.А. Каплин д.т.н.

ГОБУ ВПО Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, Шахты, glebovdon@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

Выполнен анализ прикладных и теоретических работ в области электрохимической размерной обработки деталей из магнитных сплавов. Приведены результаты экспериментальных исследований обработки магнитных сплавов этим методом. Обсуждаются перспективные направления исследований ЭХО деталей из магнитных сплавов

Ключевые слова: *электрохимическая обработка (ЭХО), магнитные сплавы, шероховатость, точность.*

Функционирование различных машин и механизмов, а также отдельных узлов и элементов основано на использовании магнитных явлений. Магниты литые постоянные (МЛП) используются в качестве неотъемлемых элементов во многих электрических машинах, аппаратах и приборах, системах регулирования и управления, для производства кассовых аппаратов, магнитных валов копировальной техники и лазерных принтеров, систем сотовой радиосвязи [1- 3]. На магнитных носителях сосредоточено 90 .. 95% всего объёма используемой в мире информации.

При обработке МЛП предъявляются высокие требования к форме, размерам и качеству обработанной поверхности, связанные с определенными параметрами детали. Кроме того, МЛП должны обладать устойчивостью в различных условиях эксплуатации (механические нагрузки, вибрации, перепады температуры, влажности и т.д.). Заготовки для магнитных деталей после спекания имеют сравнительно низкую точность, что приводит к необходимости их дополнительной обработки. До настоящего времени на практике в обработке МЛП доминирует механическое шлифование. Однако ввиду чрезвычайно высокой хрупкости, твердости и наличия значительных внутренних напряжений механическое шлифование приводит к появлению на обрабатываемой поверхности сколов, трещин, к выкрашиванию отдельных зерен и частиц металла, значительному износу шлифовальных кругов и другим отрицательным последствиям, и в конечном результате к значительному браку магнитных изделий.

Применение лазерной и электроэрозионной копировально-прошивочной и вырезной обработки МЛП также приводит к структурным изменениям в материале поверхностного слоя, вызывает микротрещины. Поверхность среза из-за высокой температуры в зоне обработки имеет кратеро- и каплеобразную структуру [4 – 5]. Вследствие этого приходится оставлять большие припуски на дальнейшую обработку (шлифование), достигающие несколько миллиметров, что не удовлетворяет условиям высокопроизводительного производства и экономически нецелесообразно. Любые механические воздействия не только искажают структуру поверхностного слоя, но и приводят к ухудшению магнитных свойств, особенно в анизотропных магнитах.

Значительный прогресс в обработке МЛП по сравнению с механическим шлифованием, лазерной и электроэрозионной обработкой достигается за счёт применения технологии электрохимической обработки (ЭХО) [6 - 8]. При этом значительно сокращается переплав изделий из-за дефектов обработки и снижается расход дорогостоящих абразивных кругов. Однако широкое внедрение ЭХО в производство сдерживается слабой оснащённостью или

отсутствием соответствующего технологического оснащения, особенно на мелких и средних предприятиях [9 - 11].

Исследования анодного поведения МЛП в растворах солей проводятся давно, однако результаты этих исследований имеют разрозненный характер, не систематизированы и носят характер узкопрактических рекомендаций [1, 12]. Известно, что процесс ЭХО сплавов не влияет на их магнитные свойства. Однако структура и физико-химические свойства МЛП, а также параметры процесса ЭХО и используемого электролита влияют на качество обрабатываемой поверхности.

Для экспериментального исследования зависимости качества ЭХО от магнитных свойств анода были изготовлены призматические магниты из сплавов ални и алнико ЮНД4, ЮН14ДК24Т2 и ЮНДК35Т5АА с магнитными энергиями 7.2, 26 и 80 кДж/м^3, соответственно. Обработка велась при плоскопараллельном расположении электродов на площади 1,36 см^2 (17х8 мм) в 10 %-ном растворе $NaNO_3$ при температуре 28°С и плотности тока 15 А/см^2 в течение 10 с. Расход электролита 85 см^3/с при толщине межэлектродного зазора (МЭЗ) 0,7 мм обеспечивал скорость протока электролита V = 15 м/с. Катод-инструменты для ЭХО обычно изготавливают из диамагнетиков (медь и её сплавы, графит и т.д.), поэтому магнитным взаимодействием между электродами можно пренебречь.

Магнитную энергию W_M удаляемого объёма υ МЛП можно определить по формуле

$$W_M=\omega\upsilon,$$

где $\omega = \dfrac{BH}{2}$ - объёмная плотность магнитной энергии;

B – индукция;

H – напряжённость магнитного поля внутри МЛП.

Можно предположить, что работа A, совершаемая электрическими силами в МЭЗ и на поверхностях электродов, идет на выделение в МЭЗ джоулева тепла Q, на электрохимическую реакцию анодного растворения сплава и выделения газов $E_{эх}$, а в случае намагниченности образцов и на работу W_M по преодолению сил магнитного сцепления растворяемого слоя МЛП

$$A=Q+E_{эх}+W_M.$$

Качество обработки, а также глубину съёма и высоту микронеровностей определяли при помощи профилографа-профилометра М-201. Результаты исследований для сплава ЮНДК35Т5АА (имеющего большую плотность магнитной энергии – 80 кДж/м^3) показали, что влияние магнитных свойств на производительность ЭХО незначительно и колеблется в пределах ± 5 %, что отчасти можно объяснить погрешностью измерений. Шероховатость обработанной поверхности также практически не изменяется [5, 13]. Это объясняется тем, что, как показывают расчёты, магнитная энергия удаляемого при ЭХО объёма сплава незначительна и процесс анодного растворения идет в основном за счет электрохимических реакций. Однако шероховатость поверхности существенно зависит от величины технологического тока, а также от угла между направлением тока и линиями магнитной индукции.

Энергия магнитного поля влияет также на движение и, что более важно, на ориентацию ионов в приэлектродной области. Магнитные плиты (ГОСТ 17519-91) иногда применяются в ЭХО для фиксации катод-инструмента, поэтому исследование влияния магнитного поля на процесс ЭХО представляет практический интерес.

Таким образом, исследование влияния структуры и магнитных свойств анодной поверхности представляет большой интерес с точки зрения разработки теории ЭХО и её практического применения в производстве. Для более детального понимания процесса необходимо проведение дополнительных исследований и создание математической модели, согласующейся с полученными результатами.

Список литературы

1. *Глебов В.В.* Электрохимическое маркирование и гравирование деталей: Монография. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. – 152 с.
2. Влияние чистоты исходных веществ на структуру и свойства постоянных магнитов / *И.В. Беляев, К.В. Григорович, Н.Б. Кольчугина, С.С. Шибаев* // Неорганические материалы. – 2010. – Т. 46. - № 3. - С. 341-344.
3. *Кирсанов С.В., Глебов В.В.* Определение оптимальной плотности тока для электрохимической обработки постоянных магнитов // Научная жизнь. – 2006. -№ 6. – С. 19 – 22.
4. *Екомасов Е. Г., Шабалин М. А., Азаматов Ш. А.* Численное моделирование зарождения магнитных неоднородностей в реальных магнетиках // Электронный журнал «Исследовано в России», http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/154.pdf 1621-1629 (Дата обращения 13.09. 2012 г.).
5. *Глебов В.В., Кирсанов С.В., Присяжнюк Ю.В.* Шероховатость и точность при электрохимической обработке деталей из магнитных сплавов // Казанская наука. – 2011. - №2. – С. 31-33.
6. *Глебов В.В., Кирсанов С.В.* Комбинированные электрохимические методы обработки деталей // Фундаментальные исследования. - 2006. - № 1. - С. 73-74.
7. *Глебов В.В., Кирсанов С.В.* Фотоэлектрохимическая обработка деталей полупроводниковыми катод-инструментами в NaCl и $NaNO_3$ электролите // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2007. - № 3 . –С. 71 - 73.
8. *Kirsanov S. V., Glebov V.V.* Application of electrochemical marking methods in machine building // Surface engineering and applied electrochemistry. - 2004. - № 5. - P. 1-3.
9. *Глебов В.В.* Аддитивное маркирование металлоизделий растровым электрод-инструментом // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2007. - № 4. – С. 134-136.
10. *Глебов В.В.* О проблеме бокового подтравливания при химическом и электрохимическом гравировании // Фундаментальные исследования. - 2011. - №8. – С. 623-626.
11. *Kukoz F.I., Kirsanov S.V., Glebov V.V.* Feasibility of increasing process current density in photoactive electrode-tool // Surface engineering and applied electrochemistry. - 2000. - № 4. - P. 1-2.
12. *Введенский А.В.* Анодное растворение магнитного сплава ЮНДК25БА при высоких плотностях тока в нитратном электролите // Электронная обработка материалов. - 1976. - № 6. - С.16-20.
13. *Кирсанов С.В., Глебов В.В., Присяжнюк Ю.В.* Влияние легирующих присадок в сплаве ЮНД4 на производительность электрохимической обработки и шероховатость обрабатываемой поверхности // Металлообработка. – 2004. -№2 (20). – С.26-29.

05.02.13

С.Н. Голышев, М.А. Донченко к.т.н., С.Н. Ермаков

ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет»,
Псков, golyshevsergey@rambler.ru, delta-t.dma@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РАДИУСА ИЗГИБА ТРУБЫ ПОЛИМЕРНОЙ, АРМИРОВАННОЙ ПРОВОЛОЧНЫМИ ПОВИВАМИ, НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассматриваются методики проведения предварительных проектировочных расчетов и испытаний трубы полимерно-армированной. Основное внимание уделено вопросу влияния радиуса изгиба трубы полимерной, армированной проволочными повивами, на прочностные свойства при эксплуатации.

Ключевые слова: *скважинное оборудование, ингибитор, труба полимерно-армированная, радиус изгиба, прочность.*

Наиболее эффективным и экономичным методом борьбы с отложениями солей на скважинном оборудовании является способ подачи ингибиторов по капиллярному трубопроводу в затруб или на приём насоса. Способ подачи ингибитора по капилляру подробно изложен в трудах В.В. Шайдакова [1]. В настоящее время в качестве капиллярного трубопровода наибольшее распространение, получили полимерно-армированные трубы.

Армирование полимерных труб в первую очередь проводится для увеличения их прочностных свойств, что способствует повышению рабочего давления в трубопроводе. Физико-механические свойства труб определяются свойствами материалов армирующего каркаса и оболочки (наполнителя). Высокопрочными материалами армирующих элементов выступают стальная проволока или лента, стекловолокно или синтетические нити

В настоящее время компания «Псковгеокабель» планирует к выпуску трубу капиллярную ТГ5/15-25, применяемую в качестве скважинного трубопровода для подачи химических реагентов на заданную глубину. Разработки ведутся в рамках государственного контракта №14.527.12.0026 на выполнение опытно-конструкторских работ по теме: «Разработка, организация производства номенклатурного ряда шлангокабелей, полимерных армированных трубопроводов, технических средств и технологий их использования в нефтяной и газовой промышленности» при финансовой поддержке Министерства науки и образования. Труба представляет собой сложную конструкцию, изготовленную из полимера и армированную двумя слоями повива стальной высокопрочной проволоки (рис. 1).

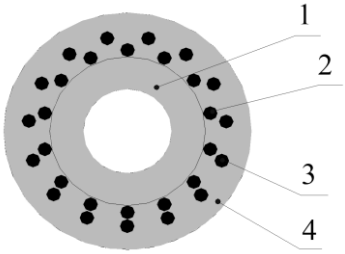


Рис. 1. Конструкция грузонесущей трубы марки ТГ 5/15-25 (капиллярная):
1 – внутренняя полимерная труба (является непосредственно гидроканалом);
2 – первый повив брони; 3 – второй повив брони;
4 – наружная оболочка из полимерного материала

На этапе проектирования трубы проводились предварительные прочностные расчёты, для определения основных конструктивных параметров, компьютерное моделирование условий нагружения трубы, для предварительной оценки прочностных характеристик трубопровода, а также механические испытания образцов трубы.

Очевидно, что основную часть нагрузки от внутреннего давления воспринимают витки армирующего слоя, поэтому важными параметрами при производстве трубы являются шаг и угол повива, а также диаметр проволоки. Регулирование указанных параметров обеспечивает заданную анизотропию физико-механических свойств материала, как по направлению, так и по величине. Исходя из конструкции трубы, армирующие элементы (повивы брони) расположены по винтовой линии (с определенным углом и шагом) в два противоположно направленных слоя для одновременного повышения прочности в осевом и радиальном направлениях.

На рис. 2 приведена упрощенная расчетная схема трубы, одним слоем армирующей проволоки под углом φ к оси трубы.

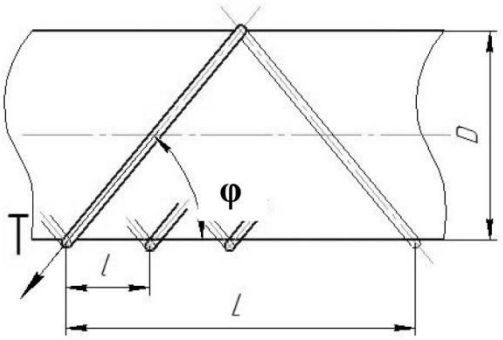


Рис.2. Расчетная схема армирующих элементов

Исходя из схемы осевая нагрузка на проволоку определяется по формуле [2]

$$T = \frac{D \cdot L \cdot p}{2N \sin\varphi}, \qquad (1)$$

где T – осевая нагрузка на проволоку, Н; D – наружный диаметр внутренней оболочки (диаметр армирования), мм; $L = l \times N$ – шаг укладки проволоки, мм; l – шаг проволоки между соседними витками, мм; N – количество проволок; p – внутреннее давление в трубе, МПа; φ – угол укладки проволоки.

Из формулы видно, что осевая нагрузка на проволоку зависит от угла повива последней. На рис. 3 представлена качественная зависимость осевой нагрузки на проволоку от угла навивки проволоки.

Проведенные расчеты показали на необходимость снижения нагрузки в проволоке путем увеличения шага скрутки, при этом увеличивается угол повива. Из графика (см. рис. 3) следует, что можно получить необходимые значения по осевой и радиальной составляющих нагрузки, изменяя угол повива проволоки. Выбор оптимальных значений угла повива осуществляется с учетом наличия осевой нагрузки в трубе, а также с учетом возможности технологического оборудования.

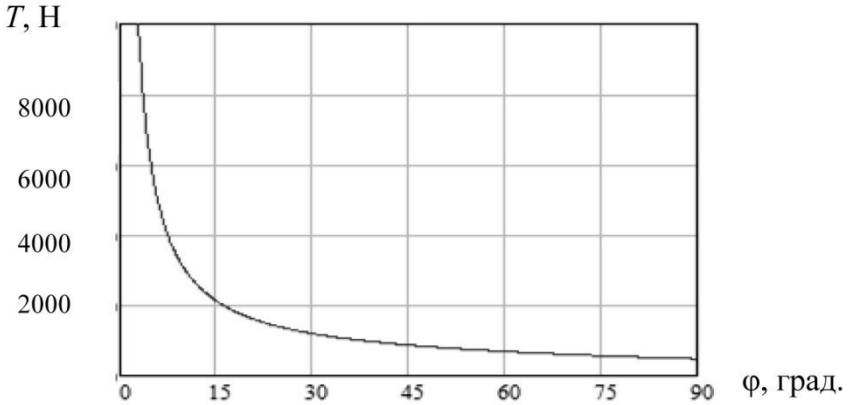


Рис. 3. График зависимости осевой нагрузки в проволоке от угла её повива

Другим вариантом повышения надежности трубы является введение второго армирующего слоя, повитого в другом направлении. Два слоя проволоки, уложенные во взаимно противоположных направлениях, обеспечивают равнопрочность системы армирования к действию внутреннего давления в осевом и радиальном направлении.

Для проверки заявленных характеристик трубы проводились исследования, заключающиеся в создании твердотельной модели и изучении её поведения при различных внешних воздействиях. Для исследования использовался программный комплекс SolidWorks 2011 и инструмент SolidWork Simulation. Данный инструмент использует метод конечных элементов для проведения прочностного статического анализа деталей и сборок.

Исследовалось влияние следующих внешних воздействий на картину нагруженно-деформированного состояния:

- внутреннее статическое и динамическое давление;
- внешнее статическое и динамическое давление;
- продольное разрывное усилие;
- внешняя и внутренняя температура.

На рис. 4 представлен внешний вид твердотельной модели трубы капиллярной ТГ5/15-25, состоящей из следующих элементов: трубка внутренняя из полиэтилена низкого давления, первый повив армирующего слоя из стальной проволоки, второй повив армирующего слоя из стальной проволоки, оболочка внешняя из полиэтилена низкого давления (на рисунке прозрачна).

Рис. 4. Вид твердотельной имитационной модели

Результаты моделирования процессов нагружения трубы позволяют сделать следующие выводы:

1. Наибольшие нагрузки возникают при воздействии разрывного усилия значением 30кН и внутреннего давления 20МПа (напряжения в материале проволоки достигают 655 MPa).
2. Основную нагрузку при воздействии внутреннего давления и разрывного усилия воспринимают повивы брони.
3. Наименьший запас прочности наблюдается при воздействии разрывного усилия, а высокий запас прочности – при воздействии внутреннего давления и внешнего давления.

Таким образом, труба ТГ5/15-25 устойчива к воздействию как внешнего, так и внутреннего давления.

Последующие экспериментальные исследования подтвердили, с большой степенью достоверности, результаты компьютерного моделирования.

Для испытания на стойкость к внутреннему давлению труба ТГ 5/15-25 была намотана на два блока испытательного стенда. При проведении эксперимента возникали случаи разрушения трубы в местах перегиба, указанных стрелкой на рисунке 5.

Причиной такого разрушения трубы может явиться её большой перегиб, значение которого больше наименьшего радиуса.

Наименьшие радиусы изгиба труб и наименьшие длины прямых участков изогнутых труб показаны на рисунке 5.

Длину изогнутого участка трубы А определяют по формуле:

$$A = \frac{\pi \cdot \alpha}{180}\left(R + \frac{D_н}{2}\right) \qquad (2)$$

где R - наименьший радиус изгиба, мм; $D_н$ - наружный диаметр трубы, мм.

Рис.5 Место разрушения трубы, находящейся на испытательном стенде.

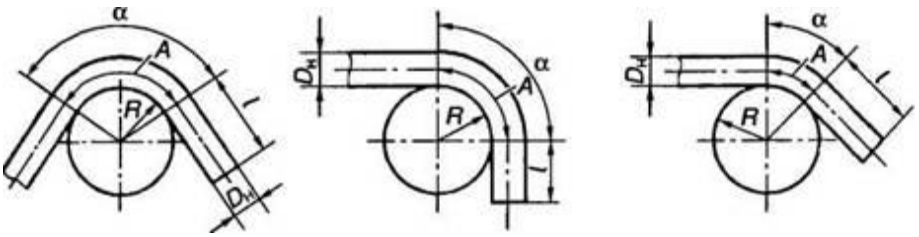


Рис.6 Расчётные схемы радиуса изгиба трубы.

Наименьший радиус изгиба для трубы грузонесущей ТГ 5/15-25 составляет 300 мм. Наименьший радиус изгиба трубы определяют с помощью шаблона. Результат испытаний считают положительным, если при изгибе трубы по контуру шаблона на ней не будет перегибов и вмятин. При выборе радиуса изгиба следует по возможности предпочитать для изгиба трубы в холодном состоянии. Минимальные радиусы изгиба труб назначают обоснованно. Например, учитывается, что труба наматывается на бухту. При этом необходимо учесть, что предельные значения овальности в месте изгиба не должны превышать определенных значений. Это необходимо для того, чтобы не произошло «схлопывания» трубы и не уменьшилась проходная способность.

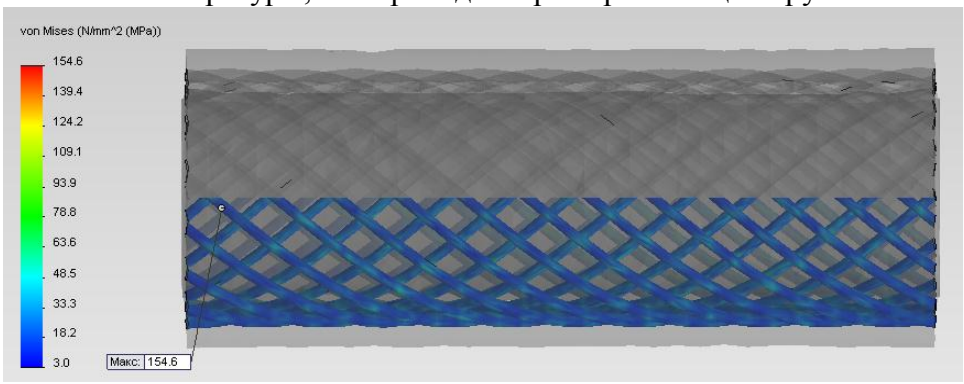
При изгибе трубы происходит деформация полимерной оболочки и нарушение геометрических параметров повивов армировки, что можно наблюдать на рисунке 5 в месте перегиба. Геометрические параметры повивов выбираются исходя из предварительного теоретического расчета (формула 1), анализа напряженного состояния компьютерной модели, а также с учетом возможностей технологического оборудования. Очевидно, что при смещении проволоки спиральной навивки образуются ослабленные (напряженные) зоны в повивах и полимерной оболочке.

На рисунке 7, а представлена модель трубы грузонесущей под воздействием внутреннего давления. Максимальные напряжения в материале, согласно расчёта составляют 154,6 МПа. На рисунке 7, б, представлена модель с приложенным изгибающим моментом, также находящаяся под действием внутреннего давления. На рисунках видно, что форма и размер «ячеек», образованных наложением наружного и внутреннего слоёв повивов прямой

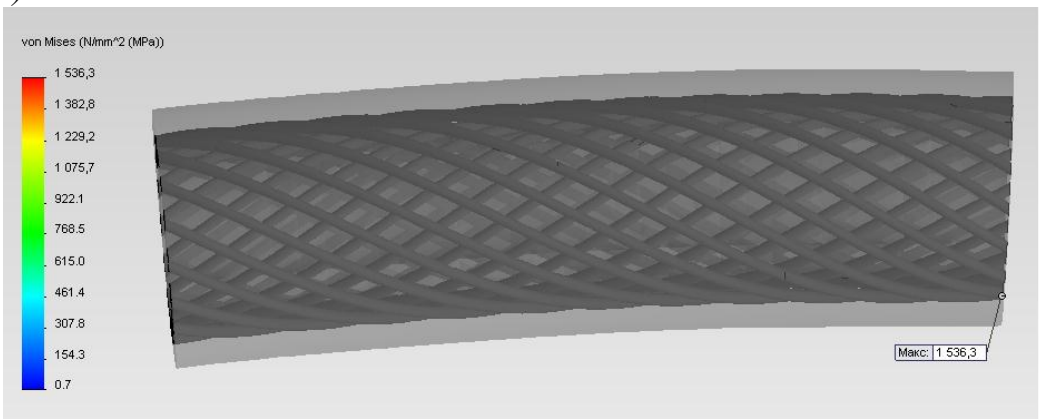
(рис.7, а) и изогнутой (рис.7, б) трубы различны. Наличие изгиба увеличило максимальные внутренние напряжения до 1,5 ГПа.

Исходя из выше сказанного можно сделать вывод о необходимости проведения испытания на стойкость к действию постоянного внутреннего давления с учетом изгиба для выявления минимального радиуса перегиба при рабочем давлении. Также необходимо определить давление разрушения трубы при данном радиусе перегиба.

Очевидно, что на результат испытаний существенное влияние оказывает температура технологической жидкости, перемещаемой по трубе, а также температура окружающей среды. Это связано, в первую очередь, со свойствами полимера, который размягчается при повышение температуры, что приводит к разгерметизации трубы.



а)



б)

Рис. 7 Компьютерная модель трубы, находящейся под воздействием внутреннего давления: а) без изгиба; б) изогнутой.

Стойкость к действию постоянного внутреннего давления при изгибе проверяют на образцах труб с подсоединенными к их концам наконечниками, к которым прикладывается изгибающее усилие. Длина образца L должна равняться десяти наружным диаметрам трубы, рабочая часть l составляет $3/4L$. К образцу прикладывают изгибающее усилие, обеспечивающее заданный радиус изгиба. В испытуемый образец подают давление и выдерживают образец в течение 2 часов. Результат испытаний считают положительным, если в течение заданного времени испытаний не произошла потеря герметичности трубы. Кроме того, испытание продолжают, увеличивая давление до тех пор, пока не произойдет потеря герметичности и разрушение трубы. Давление разгерметизации фиксируют.

Список литературы

1. *Шайдаков В.В.* Капиллярные системы для предотвращения солеотложений в нефтедобыче // Инженерная практика. 2009. №12. С. 98-101.
2. *Гориловский М., Гвоздев И., Швабауэр В.* К вопросу прочностного расчета армированных полиэтиленовых труб // Полимерные трубы. 2002. №2. С. 22-25.
3. *Пепеляев В.С., Тараканов А.И.* Выбор методики испытаний промысловых трубопроводов из полиэтиленовых армированных синтетическими нитями труб // ООО «Технология композитов». URL: http://www.tk.perm.ru/upload/iblock/d0d/metodika-ispytanii.pdf.
4. *Голышев С.Н., Донченко М.А., Робин А.В.* Расчет, моделирование и экспериментальные исследования грузонесущей (капиллярной) трубы для подачи ингибиторов в скважину // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 6. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 167-175.

05.23.01

А.Г. Гоньшаков к.э.н., Н.Г. Гоньшаков к.т.н., С.И. Рощина д.т.н.

Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
архитектурно-строительный факультет, кафедра «Строительные конструкции»,
Владимир, rsi3@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО ДИСКА ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ, ОБРАЗОВАННОЙ НА ОСНОВЕ ТИПОВОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РЕШЕТЧАТОЙ БАЛКИ

В одноэтажных производственных зданиях стоимость покрытий составляет до 55% от общей стоимости зданий, поэтому разработка, исследование и применение новых конструктивных форм железобетонных балок покрытий является актуальной. В результате проведенных исследований было установлено, что длину опорных частей облегченной балки рекомендуется принимать 1/10 от пролета, что позволяет получить экономию бетона до 30% .

Ключевые слова: *Типовая решетчатая балка, облегченная балка, жесткий диск, касательные напряжения, главные напряжения.*

В одноэтажных производственных зданиях стоимость покрытий составляет 30-55% от общей стоимости зданий. Поэтому разработка, исследование и применение новых конструктивных форм железобетонных балок покрытий, позволяющих снизить материалоемкость и уменьшить монтажный вес конструкций, являются важными задачами в области совершенствования существующих типовых решений. Предлагаемые облегченные железобетонные конструкции, образованные на основе типовых решетчатых балок, удовлетворяют таким требованиям, и их производство не требует больших затрат на изготовление новых опалубочных форм, так как можно использовать уже существующие формы для типовых решетчатых балок с укладкой в них вкладышей.

Теоретически напряжения в бетоне для опорного участка от усилия предварительного обжатия определяются согласно методу, предложенному П.П. Назаренко [1].

Рассмотрим опорный узел облегченной конструкции с горизонтальным расположением напрягаемой арматуры (рис.1). Усилия сцепления напрягаемой арматуры с бетоном представим в виде эпюры, ограниченной произвольной функцией t = f(l) (рис.1).

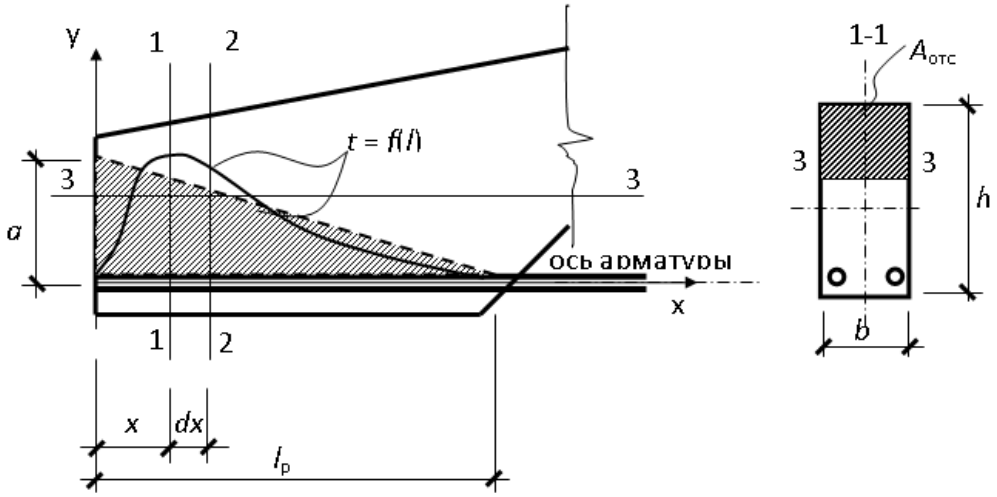


Рис. 1- Опорный узел облегченной конструкции с горизонтальным расположением арматуры (7х15)

Для определения напряжений используем известную методику [2], основанную на гипотезе плоских сечений. В пределах lp двумя вертикальными сечениями выделим элемент узла длиной dx (рис.2).

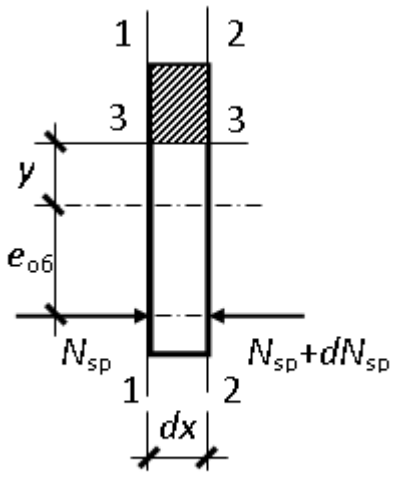


Рис. 2- Элемент опорного узла длиной dx (7x6)

Спроектировав на горизонтальную ось силы, приложенные к параллепипеду (рис.3), отсеченному от рассматриваемого элемента плоскостью 3–3, получим τ_{xy} bdx = N1 – N2 , где N1 и N2 – нормальные усилия, представляющие собой объемы нормальных напряжений σx, возникающих на боковых гранях рассматриваемого параллепипеда.

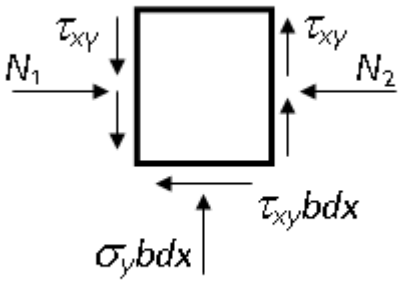


Рис. 3- Проекция на горизонтальную ось сил, приложенных к параллепипеду (5x6)

В результате ряда преобразований [1]:

$$\tau_{xy} = \left(\frac{A_{\text{отс}}}{A} + \frac{S_{\text{отс}} \cdot e_{\text{об}}}{I} \right) \frac{t}{b} - \frac{t_{\text{отс}}}{b} \; ; \tag{1}$$

$$\sigma_y = \frac{1}{b} \left[-t'P + t'_{\text{отс}} \left(e_{\text{об.отс}} - y \right) \right], \tag{2}$$

где A и I – площадь и момент инерции сечения,
Aотс, Sотс – площадь и статический момент отсеченного сечения,
еоб и y – расстояние от центра тяжести сечения (без учета площади напрягаемой арматуры Asp) соответственно до оси ряда напрягаемой арматуры и до рассматриваемого волокна (знаки принимаются по направлению оси 0Y).

Полином $P = Ay^3 + By^2 + Cy + D$,

здесь A = 2еоб/h3, B = 1/2h, C = – (3еоб/2h) – 1/2, D = h/8 + еоб/2 .

Функцию t = f(l) представим в следующем виде (рис.1):

t = a (1 – x / lp),

где в результате ряда преобразований a = 2Nsp / lp ;

в итоге функция примет вид: $t = \frac{2N_{\text{sp}}}{l_{\text{p}}}\left(1 - \frac{x}{l_{\text{p}}}\right)$.

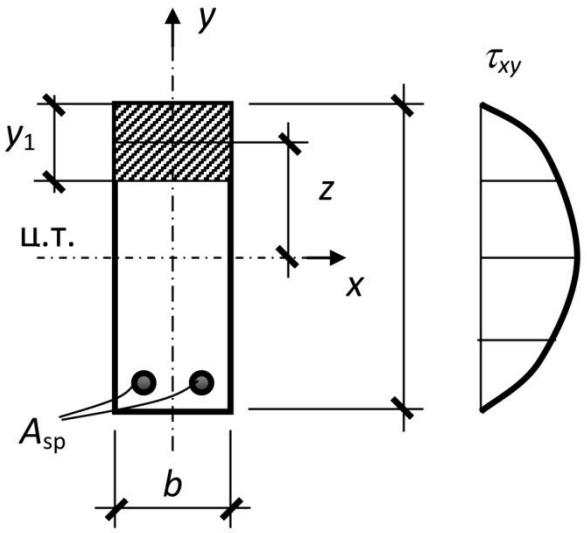


Рис. 4- К расчету касательных напряжений в опорном диске (8x8)

Опишем функцию tотс = fотс(l):

$$S_{\text{отс}} = by\left(\frac{h}{2} - \frac{y_1}{2}\right) = by_1\left(h - y_1\right)/2;$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{\text{отс}}}{b \cdot I};$$

$$t_{\text{отс}} = t \cdot \frac{S_{\text{отс}}}{S} = t \cdot \frac{by_1\left(h - y_1\right)/2}{bh^2/8}.$$

Подставив имеющиеся значения в формулы (1) и (2), получим:

$$\tau_{xy} = \left(\frac{A_{\text{отс}}}{A} + \frac{by_1\frac{\left(h - y_1\right)}{2}\left(\frac{h}{2} - a_{\text{sp}}\right)}{I}\right)\frac{\frac{2N_{\text{sp}}}{l_{\text{p}}}\left(1 - \frac{x}{l_{\text{p}}}\right)}{b} - \frac{\frac{2N_{\text{sp}}}{l_{\text{p}}}\left(1 - \frac{x}{l_{\text{p}}}\right)\frac{\frac{by_1\left(h - y_1\right)}{2}}{bh^2/8}}{b};$$

$$\sigma_y = \frac{1}{b}\left[\begin{array}{l} -\frac{2N_{\text{sp}}}{l_{\text{p}}}\left(1 - \frac{1}{l_{\text{p}}}\right)\left(\left(\frac{2}{h^3}\left(\frac{h}{2} - a_{\text{sp}}\right)\right)y^3 + \frac{1}{2}hy^2 + \left(\left(-\frac{3}{2h}\left(\frac{h}{2} - a_{\text{sp}}\right)\right) - \frac{1}{2}\right)y\right) \\ + \frac{h}{8} + \frac{\left(\frac{h}{2} - a_{\text{sp}}\right)}{2} + \left(\frac{2N_{\text{sp}}}{l_{\text{p}}}\left(1 - \frac{1}{l_{\text{p}}}\right)\frac{b(h-1)/2}{bh^2/8}\right)\left(e_{\text{об.отс}} - y\right) \end{array}\right].$$

В результате ряда преобразований имеем:

$$\tau_{xy} = \frac{2N_{\text{sp}}\left(1 - \frac{x}{l_{\text{p}}}\right)y_1}{l_{\text{p}}bh^3}\left(y_1a_{\text{sp}} - 17{,}5h^2 - 24{,}5hy_1 - ha_{\text{sp}}\right);$$

$$\sigma_y = \frac{2N_{\text{sp}}\left(1-\frac{1}{l_{\text{p}}}\right)}{l_{\text{p}}b}\left[-\frac{2y^3\left(\frac{h}{2}-a_{\text{sp}}\right)}{h^3}-\frac{y^2}{2h}+y\left(3{,}5-\frac{1{,}5a_{\text{sp}}}{h}\right)-\frac{3h}{8}+\frac{a_{\text{sp}}}{2}+\frac{4y_1(h-y)\left(e_{\text{об.отс}}-y\right)}{h^2}\right].$$

При подстановке значений в полученные выражения для нахождения τ_{xy} и σy можно убедиться, что касательные напряжения очень малы, так как напрягаемая арматура расположена горизонтально, а, следовательно, ими можно пренебречь.

В результате проведенных исследований было установлено, что длину опорных частей облегченной балки (жесткий диск) рекомендуется принимать 1/10 от пролета, что позволяет получить экономию бетона до 30% . При этом угол наклона опорной зоны принят по линии действия главных напряжений, что обеспечивает прочность по наклонному сечению и надежность анкеровки.

Список литературы

1.*Назаренко П.П.* Совершенствование расчета трещиностойкости опорных участков железобетонных конструкций // Новосибирск, Строительство и архитектура. - 1984 г.

2.*Филоненко-Бородич М.М., Изюмов С.М., Олисов Б.А. и др.* Курс сопротивления материалов. Ч.1 // М.: Физматиздат. - 1961.

05.23.05

А.К. Дятлов, А.И. Харченко, М.И. Баженов, И.Я. Харченко д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, dyatlovak@mail.ru

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

В данной статье освещаются результаты исследований различных свойств композиционного вяжущего. Влияние минералогического состава портландцемента на эффективность различных гиперпластификаторов. Также приводится теоретическое и экспериментальное обоснование формирования микро структуры бетонной смеси.

Ключевые слова: *Композиционное вяжущее; тонкодисперсный гидравлически активный микронаполнитель; макро и микро структура бетонной смеси.*

Известно, что технологически эффективную бетонную смесь можно получить только в том случае, если отдельные компоненты и особенно тонкомолотые минеральные добавки, оптимально согласуются между собой по гранулометрическому составу. Введение тонкодисперсных и качественно диспергированных микронаполнителей в состав вяжущих позволяет существенно повышать прочностные характеристики и долговечность бетонов. Одним из эффективных минеральных наполнителей, существенно улучшающих качество бетонной смеси и бетона, является микросиликатная пыль, а также тонкодисперсная карбонатная мука. Введение этих наполнителей в состав бетона позволяет не только обеспечить заполнение межзерновых пустот цементной матрицы, но и также существенно улучшить контактную зону между цементным камнем и заполнителем. [1]

Помимо указанных микронаполнителей в современной технологии бетонов широко применяется сажа, высокодисперсные доменные шлаки, метакаолин, а также другие минеральные наполнители. Многолетний опыт применения различных тонкодисперсных минеральных наполнителей показывает, что их оптимальное использование и способствует формированию более компактной и плотной структуры цементного камня, повышению прочностных характеристик и плотности структуры цементного камня и долговечности бетона в целом. Оптимальное использование микронаполнителей, наряду с применением высокоэффективных гиперпластификаторов, является главной предпосылкой для получения высококачественных самоуплотняющихся бетонов, широко применяемых в последнее время в отечественной и зарубежной строительной практике.

Однако, до настоящего времени не было проведено системных исследований влияния микронаполнителей на плотность упаковки структуры цементного камня, как трехкомпонентной системы, состоящей из воды, цемента и пустот, заполняемых минеральными наполнителями, а также не было проведено комплексных исследований влияния минерального состава портландцементного клинкера на эффективность применения гиперпластификаторов для получения самоуплотняющихся бетонов.

Для получения смоуплотняющихся бетонов, как правило, используются многокомпонентные композиционные вяжущие, микроструктура которых состоит из зёрен портладцементного клинкера, минеральных наполнителей с различной дисперсностью и гидравлической активностью, воды, межзерновых пустот и воздушных пор.

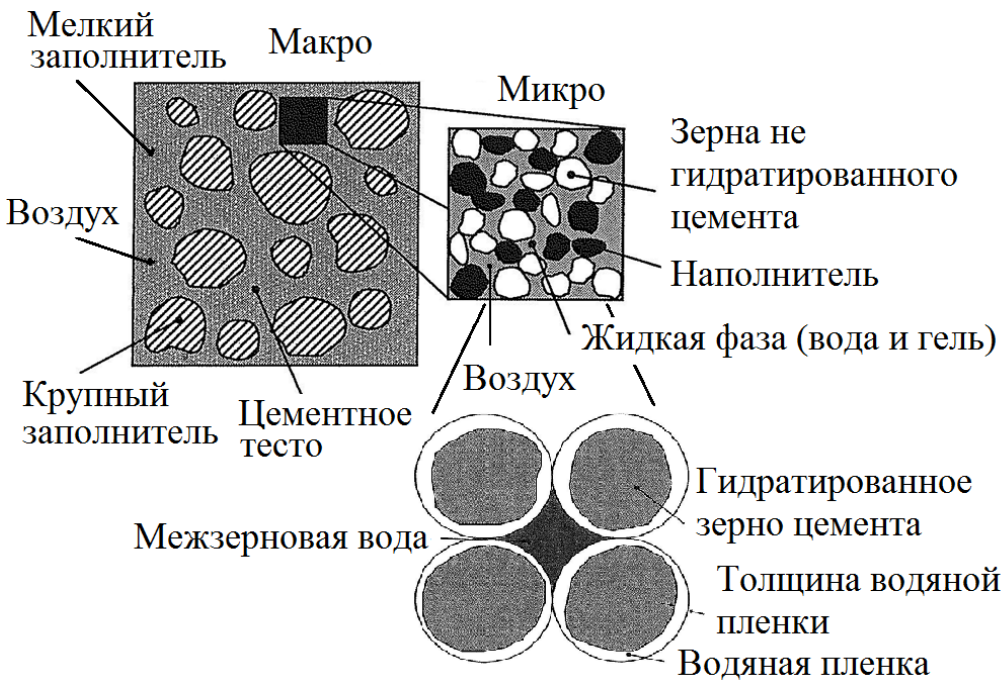


Рис.1 - Модель бетонной смеси [2]

В свою очередь вода может быть представлена в 3-х видах:

- химически связанная вода, которая находится в соединениях гидратных фаз;
- физико-химически связанная или адсорбционная вода, которая находится на поверхности зерен вяжущего в виде водяной пленки и участвует в процессе гидратации;
- свободная вода, находящаяся в межзерновом пространстве.

Технологическая и конструктивная эффективность бетона может быть повышена за счет формирования максимально компактной структуры вяжущего. Введение оптимально подобранного микронаполнителя в межзерновое пространство цементных зёрен, обеспечивает вытеснение свободной воды, снижение В/В при сохранении высокой удобоукладываемости бетонной смеси, что обеспечивает повышение прочности и долговечности бетона. При применении гидравлически активных микронаполнителей происходит не только физическое заполнение межзернового пространства базового вяжущего, но и повышение прочности цементного камня в результате дополнительного образования продуктов гидратации.

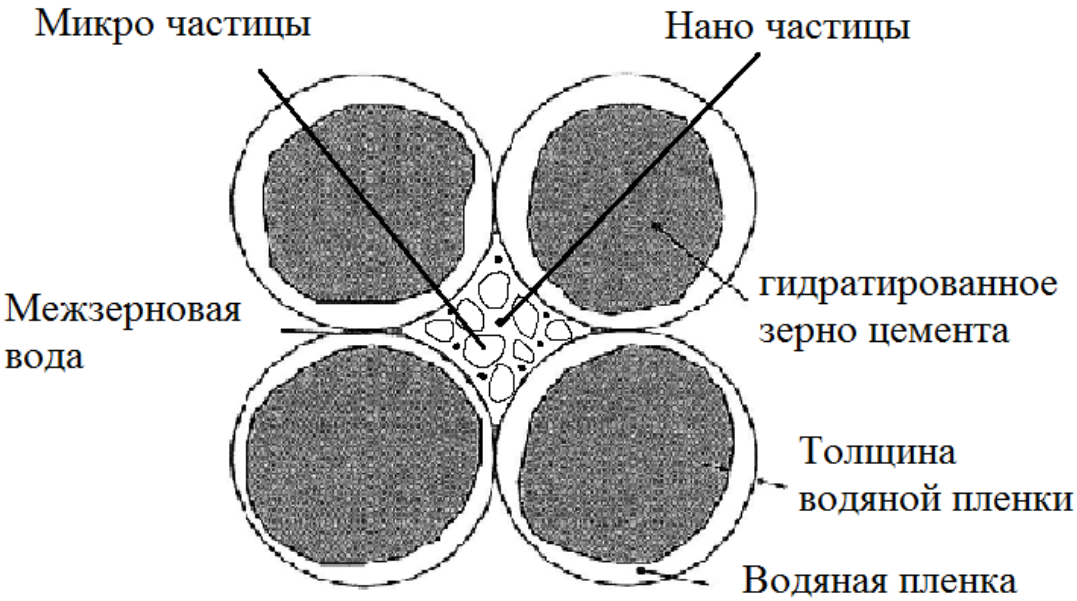


Рис.2 - Заполнение межзернового пространства базового цемента микронапонителями

Предлагаемый подход к формированию микроструктуры вяжущего и бетона позволяет получать высокоподвижные мелкозернистые (безщебёночные) бетонные смеси как на качественном мелком заполнителе, а также на песке гран. состав которого выходит за границы установленные гостом ГОСТ 6139, т.е. некондиционном песке.

В последние годы в строительной практике при изготовлении бетонов нового поколения все большее применение находят высокоэффективные поликарбоксилатные суперпластификаторы, получившие коммерческое название «гиперпластификаторы», поскольку реальные возможности снижения водоцементного отношения (до 40%) и разжижения бетонной смеси у них значительно выше, чем у традиционных полиметиленнафталинсульфонатов и полиметиленмеламинсульфонатов.

Молекулы поликарбоксилатных гиперпластификаторов имеют главную цепочку с отрицательными зарядами, которая адсорбируется к цементной частице, и незаряженные побочные цепочки. Эти цепочки подвижны и, крутясь, заполняют пространство. Цементные частицы с такими молекулами на поверхности всегда находятся на определенном расстоянии друг от друга, что обеспечивает повышенную подвижность смеси.[3] (Рис.3)

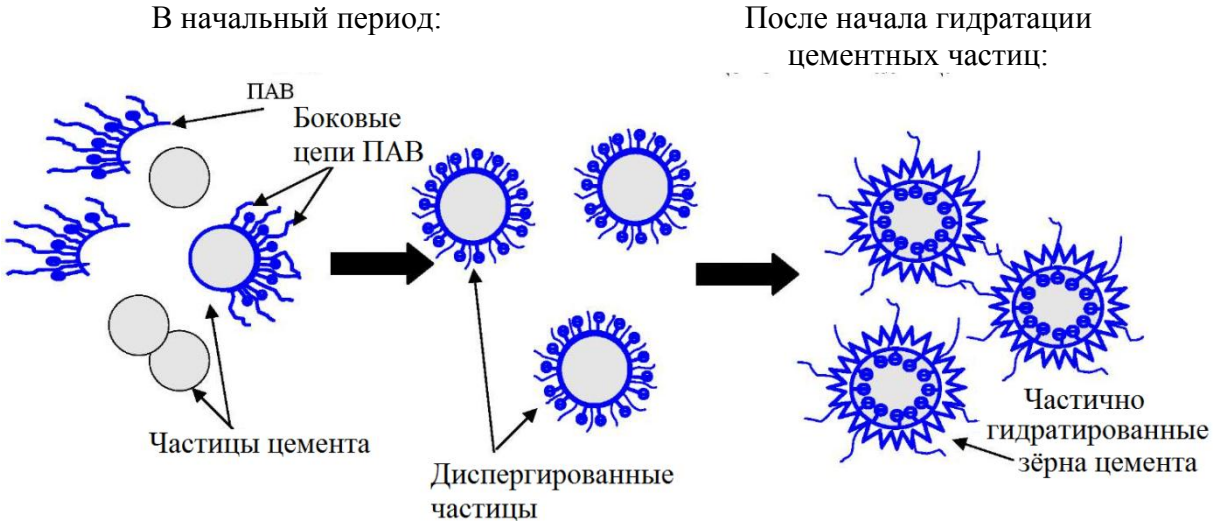


Рис.3 - Схематичное изображение процесса диспергирования поликарбоксилатными эфирами[3]

На основании многочисленных экспериментальных исследований было установлено, влияние минерального состава клинкера на реологические свойства цементных суспензий с гиперпластификаторами различного вида [5]. При этом было установлено определяющее влияние C3A на эффективность применения гиперпластификатора. В этой связи нами были проведены исследования свойств цементного теста при различном содержании C3A в составе цемента. По содержанию C3A исследовались цементы трёх видов:

- низкоалюминатный, с содержанием C3A <3%,
- среднеалюминатный, с содержанием 3%<C3A <5%,
- высокоалюминатный, с содержанием C3A >5%

В основу исследований легло определение подвижности цементного теста с различным содержанием алюминатов.

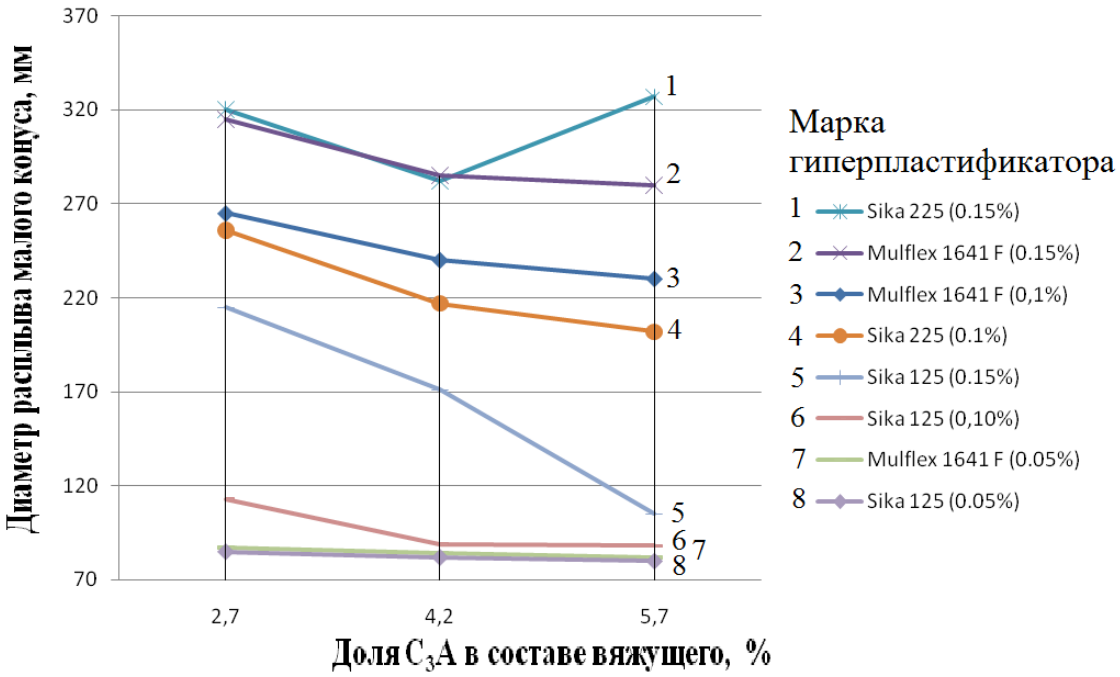


Рис.4 - Влияние содержания С3А в составе клинкера на эффективность гиперпластификатора

На Рис.4 отчетливо видно, что с увеличением трёхкальцивого алюмината в составе цемента эфективность гиперпластификаторов снижается. Однако, в случае высоких дозировок гиперпластификатора, влияние С3А на консистенцию цементного теста становится незначительным. В результате проведённых исследований установлено, что наибольшей эфективностью обладает гиперпластификатор Sika Visko Crete – 225, который использовался в дальнейших испытаниях.

Для обеспечения плотной структуры и необходимых свойств бетонной смеси, были использованы микронаполнители с различной дисперсностью и минеральным составом.

В качестве гидравлически активного микронаполнителя использовались различные марки особо тонкодисперсного вяжущего (ОТДВ) имеющего торговую марку «Микродур». ОТДВ «Микродур» – это минеральное гидравлическое вяжущее с особо тонким, постоянным и плавно изменяющимся гранулометрическим, а также определенным и стабильным химико-минералогическим составом. ОТДВ Микродур, в общем, состоит из обычного цементного сырья, как, например, портландцементный клинкер, доменный шлак, регуляторы твердения и минеральные добавки. Таким образом, ОТДВ Микродур является минеральным продуктом, имеющим достаточно высокую гидравлическую активность.

По гранулометрическому составу ОТДВ Микродур подразделяется на 3 основные марки, ограничивающим максимальный размер зёрен не превышающих весовой процент d95:

X – d95 < 6 μм

U – d95 < 9,5 μм

F – d95 < 16 μм

Некоторые параметры, характеризующие различные марки ОТДВ Микродур по гранулометрическому и минеральному составу представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Весовой процент d95	Удельная поверхность, $см^2$ /гр	Марки ОТДВ Микродур	
d95 < 6 μм	22000	R-X	R-X/E plus
d95 < 9,5 μм	16000	R-U	R-U/E plus
d95 < 16 μм	12000	R-F	R-F/E plus

Основополагающим свойством ОТДВ Микродур является особо тонкодисперсный, стабильный и плавный гранулометрический состав, контролируемый по весовому проценту d95 и d50.

Его качественные характеристики различных марок ОТДВ Микродур представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Показатель	Паспортные характеристики ОТДВ Микродур по различным маркам (DIN EN 196)		
	R-X\R-X/E plus	R-U/ R-U/E plus	R-F/ R-F/E plus
Плотность	≈2,9 г/см3	≈2,9 г/см3	≈2,9 г/см3
Удельная поверхность	≈22000см2/г	≈16000 см2/г	≈12000 см2/г
Водовяжущее отношение	≈0,50	≈0,50	≈0,50
Сроки схватывания начало конец	 -\140 мин -\≈210 мин	 ≈160 мин ≈230 мин	 ≈175 мин ≈240 мин
Прочность на сжатие 1 сут. 2 сут. 7 сут 28 сут.	 25 МПа\20 МПа 45 МПа\40 МПа 60 МПа\55 МПа 70 МПа\60 МПа	 10 МПа\10 МПа 35 МПа\30 МПа 60 МПа\45 МПа 70 МПа\55 МПа	 5 МПа\5 МПа 15 МПа\15 МПа 45 МПа\40 МПа 65 МПа\50 МПа
Гранулометрический состав < 2 μм < 4 μм < 6 μм < 8 μм < 9,5 μм < 16 μм d50	 ≈45% ≈80% ≈97% < 2,5 μм	 ≈25% ≈55% - ≈90% ≈95% < 3,5 μм	 ≈15% ≈45% - ≈75% ≈80% ≈95% <5,0 μм

В исследованиях, в качестве микронаполнителя применялся Микродур на основе доменных шлаков наряду с портландцементным клинкером, который обладает повышенной стойкостью к сульфатной коррозии и применяется для закрепляющей инъекции конструкций фундаментов, гидротехнических и подземных сооружений.

Тип «R/E plus» - это Микродур на шлаковой основе, который обладает повышенным сроком стабильности размеров частиц при затворении водой и повышенным сроком схватывания.

При введении микронаполнителей в состав цемента за счет замещения свободной воды в межзерновом мпространстве наблюдается снижение водопотребности. (Рис. 5)

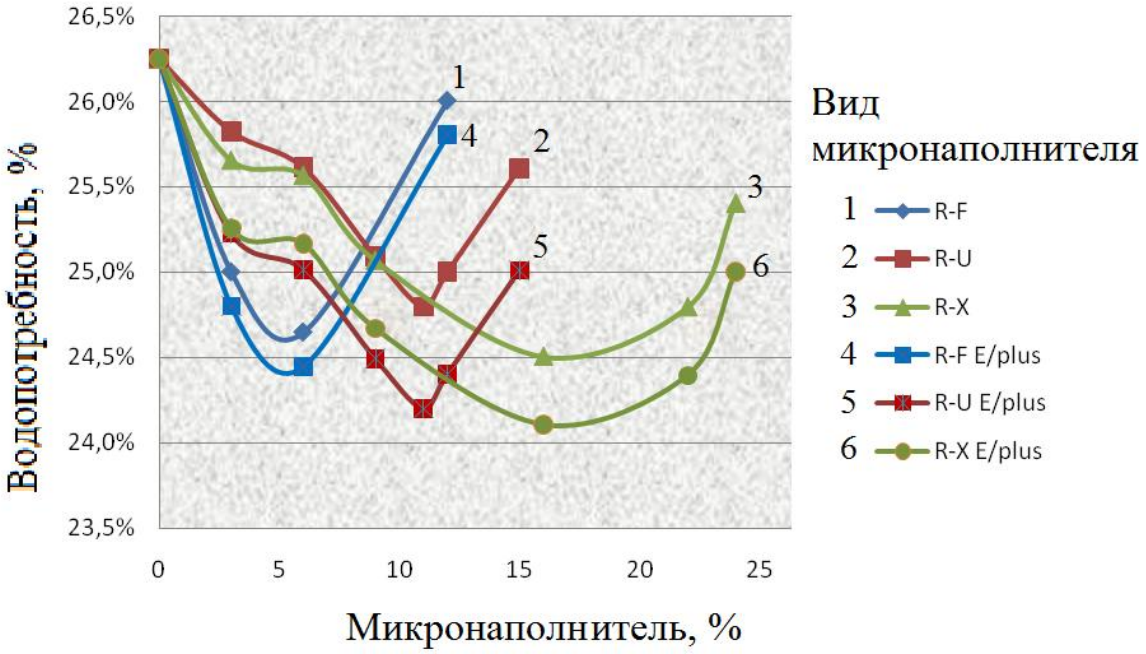


Рис.5 Влияние расхода микронаполнителя на водопотребность композиционного вяжущего

На Рис.5 наблюдается снижение водопотребности в зависимости от марки микронаполнителя и его содержания в составе вяжущего. В зависимости от крупности частиц микронаполнителя его количество в составе вяжущего варьируется от 6 до 16%. Где 6% с самый крупный R-F (d95 < 16 μм), 16% с самый мелкий R-X (d95 < 6 μм).

Однако добавление в состав микронаполнителя до 30% соответствующего по крупности наполнителя (известковой муки) еще немного снижает пиковую водопотребность вяжущего. Что отражают составы R-X/E plus, R-U/E plus, R-F/E plus.

Прочности соответствующих образцов в 28-ми суточном возрасте варьируются в пределах от 88 до 101 МПа при марке исходного цемента М500.

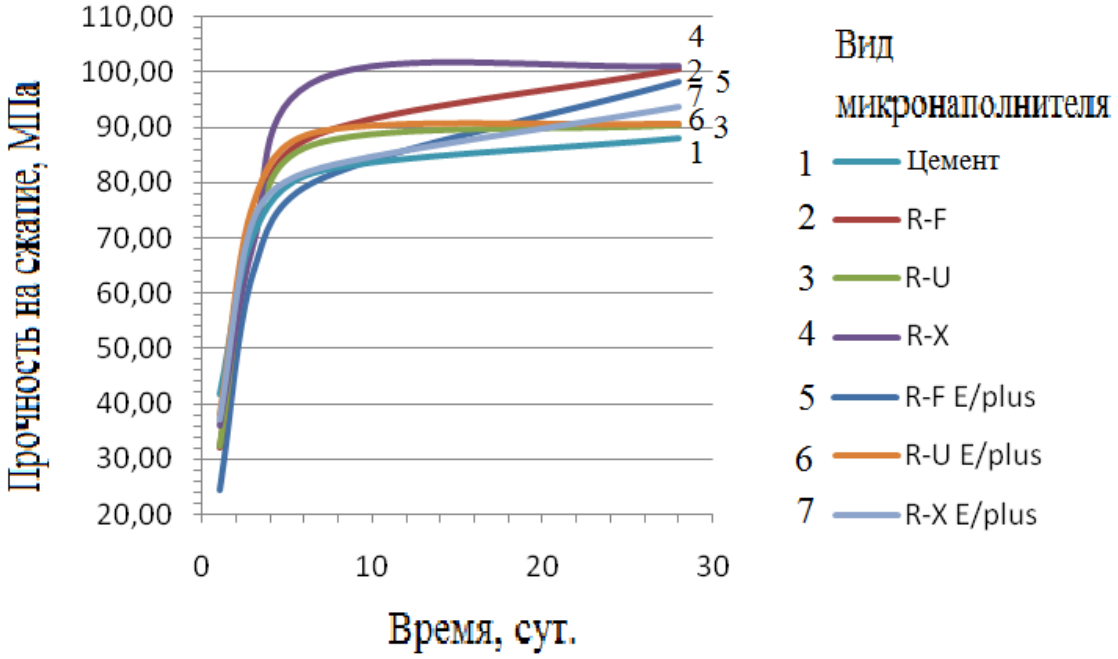


Рис.6 Влияние дисперсности микронаполнителя на кинетику затвердевания композиционных вяжущих.

На Рис.6 наблюдается интенсивный рост прочности на начальной стадии твердения. Композиционные вяжущие с микронаполнителем имеют прочность в 28-ми суточном возрасте до 25% выше чем прочность базового портландцемента. При этом наибольшую прочность имеет композиционное вяжущее с микронаполнителем R-X (d95 < 6 μм), обладающего максимальной гидравлической активностью по сравнению с другими видами микронаполнителей.

Выводы.

В результате проведенных эксперементальных исследований установлено, что применение гидравлически активного микронаполнителя со специально подобранным гранулометрическим и минеральным составом, позволяет снижать водопотребность копозиционного вяжущего при одновременном улучшении его прочностных и реологических характеристик. Предложенный способ получения композиционных вяжущих с улучшенными строительно-технологическими свойствами может найти эффективное применение в технологии самоуплотняющихся и высокопрочных бетонов.

Список литературы

1. *Астафьев Я.В.* Технология получения и основные свойства бетонов из самоуплотняющихся смесей на основе напрягающего цемента: Автореф. Диссертации канд. техн. наук. Брест – 2006. 23с. [5]
2. *Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И.* Модифицированные высококачественные бетоны / Научное издание.- М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368с. [1]
3. *Баженов Ю.М.,* Технология бетона/ Учебник. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 528с. [8]
4. *Захаров С.А.* Оптимизация составов бетонов высокоэффективными поликарбоксилатными пластификаторами // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 42-44. [6]
5. *Несветаев Г.В.* О методологии оценки эффективности добавок для самоуплотняющихся бетонов // Дни современного бетона: Материалы X Международной научн.- практ. конф. 28-30 мая. Запорожье, 2008. С. 111-118. [7]
6. *Несветаев Г.В.* Технология самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 24-28. [4]
7. *Несветаев Г.В.* Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах // Строит, материалы. № 10. 2006. С. 23-25. [2]
8. *Mori T., Higuchi T., Dr. Morioka M., and Dr. Hori A.* Effects of Amorphous Calcium Aluminate/Anhydrite Addition on the Hydration Reaction of Ordinary Portland Cement // Internationale Baustofftagung Ibausil, 2003. 1,42 /9/
9. http://www.softelastic.ru/helps/stroymost7 [3]

05.05.06

А.И. Жигульская к.т.н.

Тверской государственный технический университет,
факультет природопользования и инженерной экологии,
кафедра торфяные машины и оборудование,
Тверь, 9051963@gmail.com

РАСЧЁТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ МЕЛЬНИЦ И ИХ СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Обоснование новых методов получения древесно-волокнистой связующей добавки из пневой древесины торфяной залежи связано с разработкой рекомендаций по выбору оптимальных параметров размольной гарнитуры и режимов работы технологического оборудования. Наиболее существенными элементами гарнитуры, влияющими на эффективность и снижение энергоемкости размола, являются: толщина ножей и ширина канавок между ними, углы наклона ножей к радиусу диска, наличие и расположение перегородок в канавках между ножами.

Ключевые слова: *Дисковая мельница, гарнитура, энергоемкость, размол, пневая древесина торфяной залежи, оптимальные параметры.*

Основными конструктивными параметрами мельниц являются диаметр (внешний и внутренний) размалывающей гарнитуры, число и толщина (ширина) ножей, частота вращения ротора. Эти параметры определяются по исходным технологическим характеристикам работы мельницы: производительности, т/сут а.с.в.; виду размалываемого волокнистого материала; приращению степени помола ($°ШР_{вых} - °ШР_{вх} = \Delta°ШР$); удельной нагрузке на кромки ножей B_s, Дж/м; удельному полезному расходу энергии A_p, МДж/т, или полезной энергоёмкости размола E_n, МДж/(т$\cdot°ШР$), необходимым для получения заданного прироста степени помола [1].

В размалывающих машинах качество разработки волокна определяет количество работы, затраченной на обработку волокон (рис. 1). Отнеся эту работу к массе волокна, прошедшего зону размола, получим показатель полезного удельного расхода энергии, МДж/т:

$$A_n = \frac{N_p t}{m} = \frac{N_0 - Nx.x}{Q}, \qquad (1)$$

где $N_p = N_0 - Nx.x$ – полезная мощность размола, кВт; N_0 – общая мощность, потребляемая мельницей, кВт; $Nx.x$ – мощность холостого хода, потребляемая мельницей при перекачке массы, кВт; t – время размола, ч; m – масса а.с.в., размалываемого мельницей за время t, т; $Q = 24m/t$ – производительность мельницы, т/сут а.с.в.

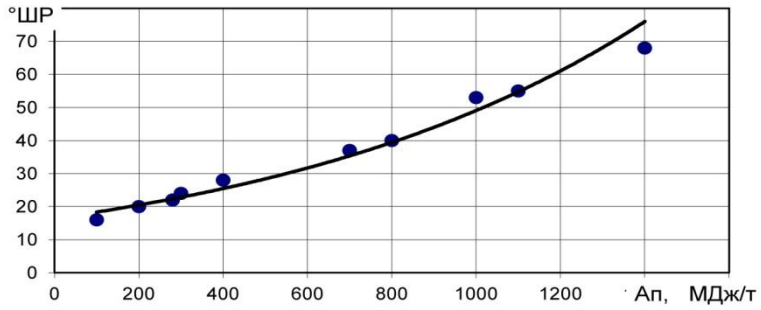


Рис. 1 - График зависимости степени помола древесно-волокнистой массы из пневой древесины от расхода полезной энергии

Наряду с показателем A_n для характеристики работы размалывающей машины часто применяется показатель общего удельного расхода энергии A_0, МДж/т:

$$A_0 = 24N_0 / Q. \quad (2)$$

Значения степени помола от продолжительности размола приведены в табл. 2. Анализ рис. 2 показывает, что размол обессмоленной пневой древесины менее энергоемкий за счет предварительной обработки исходного сырья.

Таблица 2 - Зависимость степени помола от продолжительности размола

Время размола, с	30	60	90	120	150	180
Степень помола(1)	24	37	56	58	65	76
Степень помола(2)	16	18	20	24	32	45

Рис. 2 - График способности к размолу: 1- массы из обессмоленной пневой дробленки; 2- масса из пневой древесины

Экспресс – методом оценки работы размалывающей мельницы является прирост степени помола массы за проход в зависимости от удельного расхода полезной или общей электроэнергии. Поскольку на качество размола практически оказывает влияние только полезная мощность, для расчета размалывающих машин введем показатель полезной удельной энергоемкости размола E_n, МДж/ (т$\cdot°ШР$), который можно определить по формуле

$$E_n = \frac{\Delta A_n}{\Delta° ШР} = \frac{N_p \Delta t}{m \Delta° ШР} \quad (3)$$

где ΔA_n - удельный полезный расход энергии, необходимый для получения определенного прироста степени помола массы ($\Delta\cdot°ШР$).

Выразим E_n с учетом производительности мельницы:

$$E_n = \frac{N_p}{Q \Delta° ШР} \quad (4)$$

Полезная удельная энергоемкость показывает, какая работа затрачивается в межножевом зазоре мельницы для размола 1т а.с.в. на 1°ШР. Этот показатель (при соблюдении постоянного удельного давления в зоне размола) не зависит от типа размалывающих машин, а определяется видом волокна и его сопротивляемостью размолу.

Качество конечной продукции непосредственно зависит от вида и рода размалывающей гарнитуры установленных дисковых мельниц. Металлическая гарнитура дисковых мельниц выполняется цельной нарезной и секторной литой. Существует большое число вариантов расположения ножей на рабочей поверхности гарнитуры.

Наиболее существенными элементами гарнитуры, влияющими на эффективность размола, являются: толщина ножей и ширина канавок между ними, углы наклона ножей к радиусу диска, наличие и расположение перегородок в канавках между ножами.

Взаимосвязь показателей стоимости размола и удельного расхода электроэнергии такова: при увеличении числа ножей (т. е. повышении числа рабочих граней и, следовательно, режущей длины ножей) возрастает производительность мельницы при снижении удельного расхода электроэнергии на размол. Повышение режущей длины ножей может быть достигнуто (на одной площади размалывающего диска) за счет уменьшения толщины ножей и расстояния между ними. Минимальная толщина ножей ограничивается условиями прочности и технологией изготовления и составляет 3…4 мм (в крайних случаях 2 мм). Расстояние между ножами определяется видом размалываемого сырья и его концентрацией. При размоле низкой концентрации, 3…4% (в области устойчивой работы центробежных насосов), можно рекомендовать ширину канавок для коротковолнистой лиственной древесины 2…3, для хвойной 4…5 мм, для пневой древесины торфяной залежи – 4 мм.

Угол скрещевания ножей гарнитуры ротора и статора является параметром, с помощью которого можно варьировать соотношение гидратирующего и укорачивающего воздействия на волокнистый материал, а также удельный расход электроэнергии на размол. Проведенные эксперименты показали, что при радиальном расположении ножей происходит более сильное режущее действие на массу при минимальной энергоемкости размола, а при угле наклона ножей к радиусу диска равном 45º - расчесывание волокна при максимальной энергоемкости процесса, поэтому средний угол наклона ножей к радиусу колеблется между двумя этими крайними положениями и составляет 12…25º.

По сравнению с режущей длиной влияние угла наклона ножей на эффективность размола менее значительна и определяется главным образом производительностью мельницы и энергоемкостью процесса размола [2].

Рекомендовано, по результатам промышленных экспериментов, производить размол пневой древесины торфяной залежи в две ступени. Первая ступень: дефибратор (установка горячего размола – УГР-03), где совмещены камера пропаривания непрерывного действия и камера размола. Для обеспечения минимальной энергоемкости размола, определены оптимальные параметры работы установки: температура 170…180°, время пропарки 60…90 с, давление пара 0,6…1 МПа. Степень размола получаемой массы 10…12°ШР.

Список литературы

1. *Жигульская А.И., Самсонов Л.Н.* Взаимодействие рабочих органов (гарнитуры) дисковых мельниц при размоле древесных включений торфа. Горный информационно-аналитический бюллетень 2003 №10, 198-199 с.
2. *Жигульская А.И., Самсонов Л.Н.* Минимальная энергоемкость работы размольного оборудования в производстве связующей добавки торфяных горшочков. Горный информационно-аналитический бюллетень 2003 №12, 160-161 с.

05.05.06

А.И. Жигульская к.т.н., Т.Б. Яконовская к.э.н., И.С. Бурмистров, С.А. Оганесян, А.В. Лемешев

Тверской государственный технический университет,
факультет природопользования и инженерной экологии,
кафедра торфяные машины и оборудование,
Тверь, 9051963@gmail.com.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЦИОНАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ ТОРФЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Технологические схемы разработки торфяных месторождений и ремонта полей добычи, включающие операции сводки кустарников и мелколесья, корчевки и вывозки пня, сплошного глубокого фрезерования залежи рассмотрены с учетом эколого-экономического фактора и предлагаемых вариантов рационального и комплексного использования ресурсов торфяной залежи, усовершенствования и модернизации используемого оборудования.

Ключевые слова: *эколого-экономический фактор, рациональная и круглогодичная технология, комплексное использование ресурсов, модернизация, технологическое оборудование.*

Существующие технологии добычи полезных ископаемых устарели и требуют новых подходов к проектированию, отвечающих современным требованиям экономики. Главным постулатом при разработке новых природоэксплуатирующих технологий и оборудования становится рациональное использование природных ресурсов.

Эколого-технико-экономический подход к разработке новой технологии подготовки торфяной залежи к эксплуатации основан прежде всего на учете экологических функций торфяных болот, а также на снижении негативного антропогенного воздействия производства на торфяное месторождение и окружающую среду, на учете принципов социально-экономической эффективности новой технологии производства торфяной продукции [4].

Экологические принципы разработки торфяных ресурсов проявляются через экологические функции торфяных месторождений. Значения этих функций различно в зависимости от того в каком состоянии находятся торфяники. В случае естественного природного состояния, когда торфяные залежи не затронуты разработкой, они выполняют разнообразные положительные экологические функции [2].

Все рассмотренные положительные экологические функции торфяных болот нарушаются в случае вовлечения торфяников в промышленную разработку. Самым мощным антропогенным фактором, в результате которого происходит полное уничтожение растительного покрова и торфяной залежи, является добыча торфа.

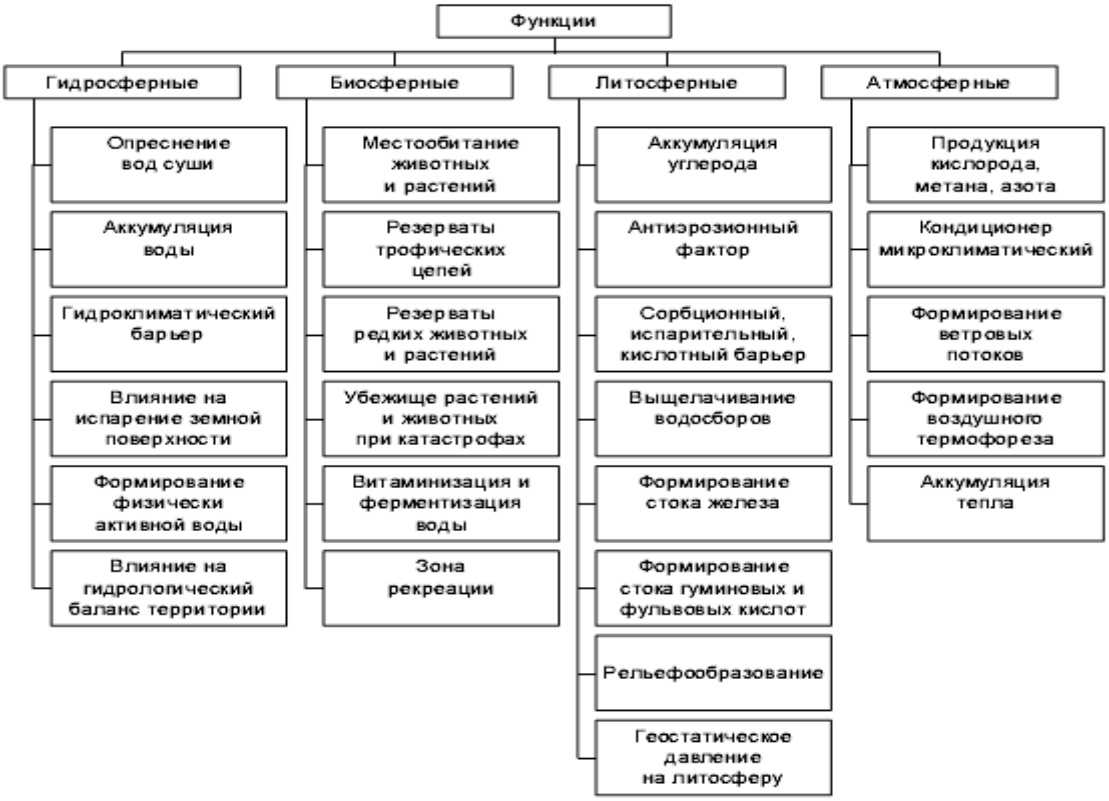


Рис. 1 - Естественные функции болот

В настоящее время на территории России площадь выработанных торфяников составляет около 900 тыс. га. Из них 70% являются полями фрезерной добычи торфа. При этом в европейской части России расположено 70% всех выработанных торфяных болот, используются только 20 – 30% площадей выработанных торфяников. Несмотря на процессы естественной регенерации болотной растительности и торфонакопления спустя 100 лет с конца их интенсивной разработки эти площади по-прежнему представляют собой очаги распространения негативных процессов – изменение поверхностного стока, возникновение пожаров и т.д.

Большинство нарушенных торфяных болот представлены карьерами и полями добычи торфа, частично регенерируемых естественным путем. Нарушенные болота, прежде всего, разработанные под добычу торфа являются малопродуктивными землями, с неясно выраженной тенденцией и скоростью самовосстановления, периодически представляющие собой угрозу загрязнения воздуха при пожарах и поверхностных вод при эрозии, нарушения инженерных коммуникаций и т.п.

Однако, разработка таких заброшенных торфяников становится экономически целесообразной в случае комплексного использования торфяных ресурсов. При этом следует разработать новый технологический подход к подготовке торфяного месторождения. Этот подход в отличие от традиционной технологии подготовки торфяного месторождения должен максимально снижать угрозу возникновения пожара и быть безотходным.

Таким методом в условиях мелколесья является сплошное фрезерование торфяной залежи и производство из полученного сырья различной торфяно-древесной продукции [3, 4].

Используемые ранее способы подготовки торфяных месторождений [1] предлагали последовательное проведение технологических операций с последующим попутным производством древесной продукции (в случае если на месторождении произрастала деловая древесина) и утилизацией древесных отходов (пней, сучьев, кустарника). И только после проведения подготовительных работ начиналась крупномасштабная добыча торфа различного промышленного назначения (рис. 2).

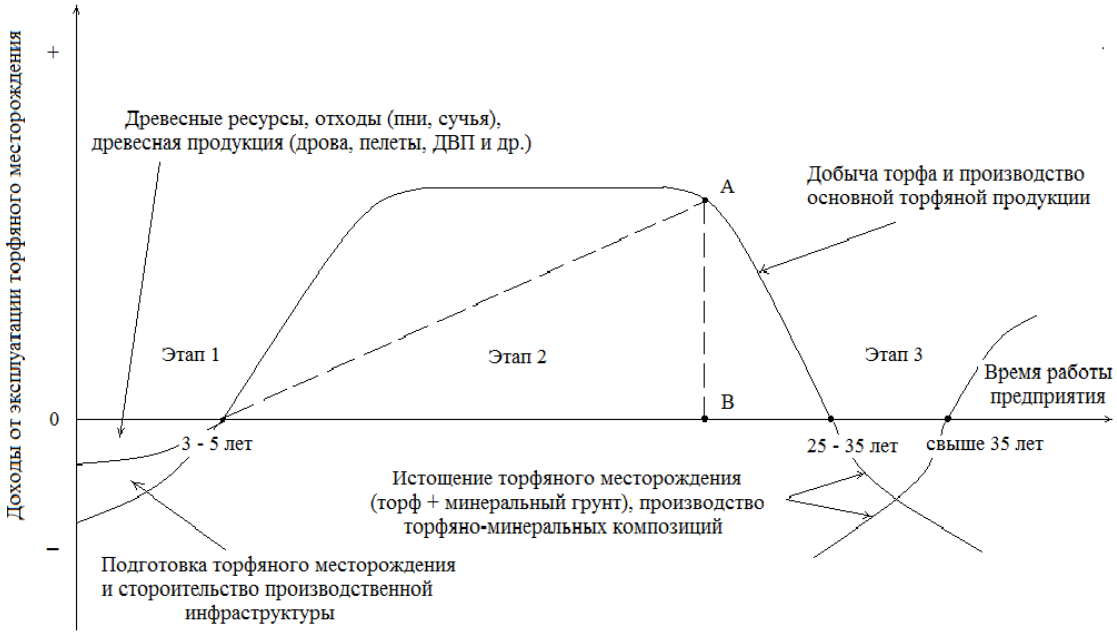


Рис. 2 - Этапы развития торфяного производства, виды торфяной продукции и доходы (традиционные технологии подготовки и добычи)

Первый этап развития торфопредприятия характеризуется значительными капитальными вложениями и возможным небольшим производством древесной низкокачественной продукции, которая в целом для предприятия убыточна, так как ее производство слишком затратно, а потребительские свойства – низкие (например, дрова, горбыль, низкокачественные доски). Если удается найти рынок сбыта, то получаемые доходы лишь ненамного уменьшают убыток от производства. В противном случае она превращается в отходы и сжигается – это прямые убытки. А так как осушение залежи до эксплуатационной влажности верхнего слоя длится не менее 3 – 5 лет в зависимости от типа залежи, то начать добычу раньше и покрыть убытки первых 3 – 5 лет существования предприятия не представляется возможным. В этой связи срок окупаемости первоначальных инвестиций увеличивается. Кроме того, практически все технологии добычи торфа фрезерным способом предполагают сушку торфа до влажности ниже 50%. При этом известно, что торф при такой влажности склонен к саморазогреванию, а значит риск возникновения пожара очень высокий.

Отличительной особенностью метода сплошного фрезерования торфяной залежи при подготовке является совмещение операций подготовки месторождения и добычи торфяных ресурсов с последующим производством торфодревесной продукции (рис. 3).

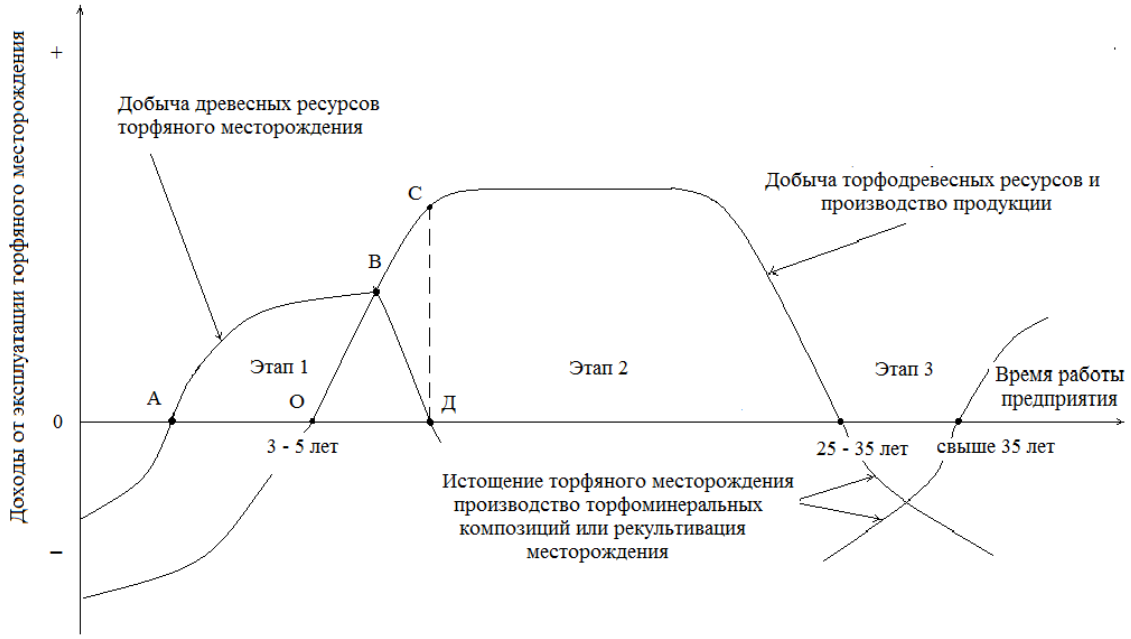


Рис. 3 - Этапы развития торфяного производства, виды продукции и доходы (новая технология подготовки торфяного месторождения)

Для получения продукции подходит любое месторождение торфа, особых требований к качественным геологическим характеристикам торфяного сырья не требуется. Если традиционные технологии добычи торфа заведомо предъявляли жесткие требования к торфосырью по степени разложения, пнистости, зольности и были ориентированы лишь на один вид производства торфопродукции, то для метода комплексной разработки торфяных ресурсов месторождений подходит торф любых качественных характеристик, в том числе и некондиционный с высокой пнистостью, зольностью и низкой степенью разложения.

Важным экономическим аспектом технологии сплошного фрезерования торфозалежи является возможность получения устойчивых доходов от производства торфодревесной продукции уже в первые годы развития торфяного предприятия. Это в свою очередь приведет к сокращению сроков окупаемости первоначальных инвестиций.

Таким образом, в рамках инженерного подхода к разработке метода комплексной переработки ресурсов торфяных месторождений способом сплошного фрезерования учитываются следующие аспекты:

- снижение экологических рисков, возникающих в процессе производства торфяной продукции;
- снижение металлоемкости способа подготовки торфяной залежи;
- уменьшение числа технологического оборудования;
- совмещение этапов подготовки залежи и добычи торфо-древесного сырья;
- начало производства готовой продукции с первых этапов развития предприятия, то есть постепенное наращивание объемов добычи торфо-древесного сырья.

В рамках экономического подхода к разработке метода комплексной переработки торфяной залежи способом сплошного фрезерования относятся следующие аспекты:

- сокращение величины первоначальных инвестиций в технологический комплекс подготовительного и добывающего оборудования;
- сокращение величины эксплуатационных расходов, связанных с содержанием технологического оборудования;
- сокращение сроков окупаемости первоначальных инвестиций в подготовительное и добывающее оборудование практически в 2 раза, в то время как традиционные методы подготовки торфяного месторождения к эксплуатации с последующей добычей позволяли окупить инвестиции в технологическое оборудование примерно за 10 лет.

Список литературы

1. *Кудимов Л.П.* Технология и комплексная механизация подготовки торфяных месторождений к разработке. / Кудимов Л.П., Кусков Ю.Д., Сафонов К.Е.- М., Недра, 1974. – 215с.
2. *Миронов В.А.* Торфяные ресурсы Тверской области (рациональное использование и охрана) [Текст]: монография / В.А. Миронов, Ю.Н. Женихов, В.И. Суворов, В.В. Панов. Тверь: ТГТУ, 2006. 72с.
3. *Жигульская А.И.* Разработка метода получения древесноволокнистой массы для торфяных горшочко / Жигульская А.И. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Тверь 2002. – 130 с.
4. *Яконовская Т.Б.* Совершенствование экономического механизма , управление промышленными предприятиями (на примере торфяного производства тверской области) / Яконовская Т.Б. – Дис. на соиск. учен. степ. кон. эконом. наук - Москва. : РОСЗИПЛТ, 2009 . 173 с.

05.02.07

[1]А.И. Залеснов, [2]Е.Н. Петухов к.т.н.

[1]Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, механико-технологический факультет, кафедра технологии машиностроения, Владимир, alexey_zalesnov@mail.ru

[2]Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, механико-технологический факультет, кафедра технологии машиностроения, Владимир, petuhov.e@list.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ТОЧЕНИЯ И СОСТАВА МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов точения ММК, армированных частицами SiC размерами 40 нм – 40 мкм и концентрацией 5 – 10%, на шероховатость обработанной поверхности.

Ключевые слова: *металломатричные композиционные материалы (ММК); обработка; шероховатость поверхности.*

Разрабатываемые в последние годы металломатричные композиционные материалы (МКМ) являются заменителями антифрикционных бронз в узлах трения скольжения различных механизмов. Эти материалы получают литьем в кокиль, либо прессованием порошковых компонентов. В качестве основы ММК используют алюминиевые сплавы типа АЛ25, АК12 и др., либо титановые, а в качестве наполнителей тугоплавкие высокопрочные, высокомодульные частицы Al_2O_3 SiC, B_4C и др. размером от 40 нм до 40 мкм. При таком сочетании фаз МКМ значительно повышаются несущая способность материалов трибосопряжений, износостойкость и задиростойкость, стойкость против абразивного изнашивания [1-3].

С точки зрения резания материалов необходимо получать готовые изделия из своего рода «шлифовального круга» с металлической связкой, содержащего абразивные частицы. Попытки использовать твердосплавный инструмент с алмазным покрытием нанесенным методом CVD показали, что при точении МКМ с алюминиевой матрицей, армированной частицами SiC, происходит интенсивное разрушение покрытия и использование его в практических целях нецелесообразно [4].

Известные работы по качеству обработки МКМ дают разноречивые данные по шероховатости, обработанной точением поверхности, от *Ra* = 1,40 – 1,90 мкм [5], до *Ra* = 0,4 – 2,20 мкм [6]. Это объясняется тем, что в этих исследованиях использовался только одна марка МКМ с одной концентрацией и зернистостью наполнителя. Поэтому в представленной работе проведены комплексные исследования влияния режимных параметров и характеристик МКМ на шероховатость обработанной точением поверхностей.

Исследование производилось на токарно-револьверном станке HAAS SL10, при продольном точении втулок из дисперсно-упрочненного частицами SiC композиционного материала, данный выбор обусловлен тем, что существенных изменений шероховатости поверхности при использовании различного наполнителя композиционного материала не выявлено. Состав наполнителя варьировался от 0,04 до 40 мкм, с их процентным содержанием от 5 до 10%. Диапазон режимных параметров точения обосновывается тем, что при скорости резания более 300 м/мин происходит катастрофический износ алмазного инструмента и его стойкость составляет не более нескольких минут работы [7], поэтому в экспериментах принимался диапазон скоростей резания *v* = 100 – 300 м/мин. Так как заготовки из МКМ получают методами литья в кокиль или прессованием порошковых

компонентов, то глубина точения варьировалась в пределах t = 0,1 – 0,5 мм, что соответствует чистовой или получистовой обработке. Изделия из МКМ используют в узлах трения - скольжения, где шероховатость рабочих поверхностей не должна превышать Ra = 1,25 мкм, поэтому диапазон подач выбирался в пределах s = 0,01 – 0,05 мм/об. Исследования проводились с использованием инструментальных вставок из поликристаллического алмаза АСПК-2.

Измерение шероховатости обработанной поверхности производились на профилографе «Surftest SJ201», позволяет снимать все параметры по шероховатости по ГОСТ 2789 - 73 и передавать изображение профилограммы на компьютер с последующей обработкой в среде Microsoft Office Excel.

В основу проведения экспериментов был положен метод одновременного варьирования основных параметров режима точения, и от зернистости и долевого содержания наполнителя (v,s,t,d,P) [8].

Рассматривается задача построения линейной регрессионной модели по результатам экспериментально затабулированной функциональной зависимости, описывающей шероховатость обработанной поверхности в процессе резания

$$y = f(v, s, t, d, P), \tag{1}$$

где v – скорость резания (м/мин); s – подача на оборот (мм/об); t – глубина резания (мм); d – размер наполнителя МКМ (мкм); P – долевое содержание наполнителя МКМ.

Будем считать, что функциональная связь (1) выражается уравнением

$$R_a = \left(\frac{v}{v_{\max}}\right)^{m_1}\left(\frac{s}{s_{\max}}\right)^{m_3}\left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^{m_3}\left(\frac{d}{d_{\max}}\right)^{m_4}\left(\frac{P}{P_{\max}}\right)^{m_5}, \tag{2}$$

которое после логарифмирования и преобразования можно записать в виде:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5\ , \tag{3}$$

где $y = \ln(R_a)$ – параметр оптимизации по наблюдениям в логарифмическом масштабе; $x_1 = \ln v$, $x_2 = \ln s$; $x_3 = \ln t$; $x_4 = \ln d$; $x_5 = \ln P$;– факторы. Основные уровни факторов указаны в табл. 1.

Таблица 1

Основные уровни факторов

Фактор	Кодовое значение	Натуральные уровни факторов, соответствующие кодированию		
		$x_{\max} = +1$	0	$x_{\min} = +1$
Логарифм скорости резания	$x_1 = \ln v$	ln300	ln200	ln100
Логарифм подачи на оборот	$x_2 = \ln s$	ln0,05	ln0,03	ln0,01
Логарифм глубины резания	$x_3 = \ln t$	ln0,5	ln0,3	ln0,1
Логарифм размера частицы	$x_3 = \ln d$	ln40	ln20,02	ln0,04
Логарифм процентного содержания частиц	$x_3 = \ln P$	ln0,1	ln0,075	ln0,05

В качестве плана был принят полно факторный эксперимент 2^5.

Обработкой результатов экспериментальных данных методом наименьших квадратов в среде Mathcad 14.0 получены следующие коэффициенты регрессии табл. 2:

Таблица 2

Коэффициенты регрессии

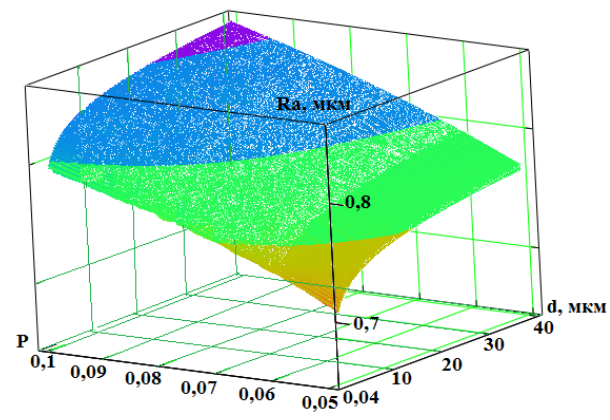
p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	P_{12}	P_{13}
-0,15082	-0,16419	0,22368	0,14591	0,02176	0,15948	0,001097	-0,06189
P_{23}	P_{14}	P_{24}	P_{34}	P_{15}	P_{25}	P_{35}	P_{45}
-0,0204	0,00348	0,005691	-0,03199	-0,18668	-0,06434	0,00171	-0,003996
P_{123}	P_{124}	P_{134}	P_{234}	P_{125}	P_{135}	P_{235}	P_{145}
-0,02519	0,009313	-0,19	0,00811	-0,08833	-0,10992	0,14423	-0,04313
P_{245}	P_{345}	P_{1234}	P_{1235}	P_{1245}	P_{1345}	P_{2345}	P_{12345}
-0,01115	-0,003259	-0,007369	-0,0589	-0,02619	-0,02018	0,03118	-6,10191

Подставив коэффициенты регрессии, получаем следующее уравнение регрессии:

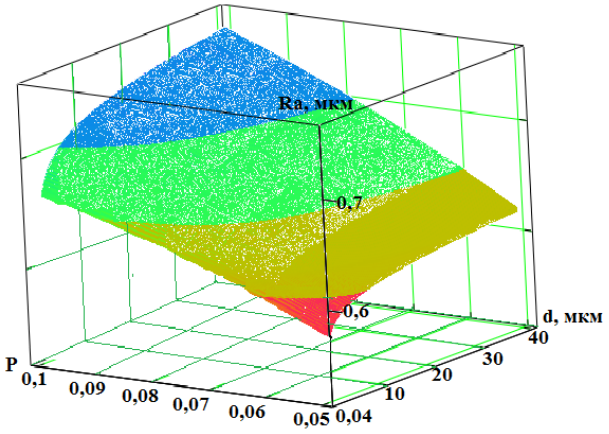
$$R_a = e^{p_0}\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)^{p_1}\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)^{p_2}\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)^{p_3}\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)^{p_4}\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)^{p_5}\times$$

$$\times\, exp\left\{\begin{array}{c} p_{12}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)+p_{13}ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)+p_{23}\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)+p_{14}*\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+ \\ +p_{24}\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+p_{34}\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+p_{15}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{25}*\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+ \\ +p_{35}\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{45}\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{123}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)+ \\ +p_{124}*\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+p_{134}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+p_{234}\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+ \\ +p_{125}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)++p_{135}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{235}\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+ \\ +p_{145}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{245}\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{345}\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+ \\ +p_{1234}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)+p_{1235}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+ \\ +p_{1245}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{1345}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+ \\ +p_{2345}\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right)+p_{12345}\ln\left(\frac{x_1}{x_{1max}}\right)\ln\left(\frac{x_2}{x_{2max}}\right)\ln\left(\frac{x_3}{x_{3max}}\right)\ln\left(\frac{x_4}{x_{4max}}\right)\ln\left(\frac{x_5}{x_{5max}}\right) \end{array}\right\}$$

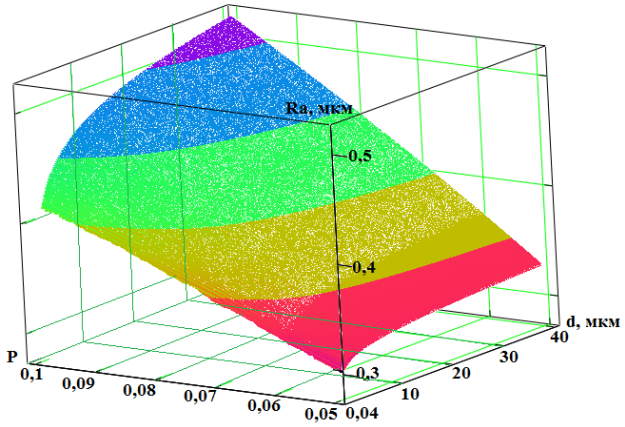
В результате построены графики зависимости параметра шероховатости R_a от скорости резания, подачи на оборот, глубины резания, при замораживании факторов на максимальном, среднем и минимальном уровнях рис.1:



а)



б)



в)

Рис. 1 Влияние размера наполнителя *d* и его долевого содержания на параметр шероховатости *Ra:*
а) при *v* = 300 м/мин, *s* = 0,05, *t* = 0,5 мм;
б) при *v* = 200 м/мин, *s* = 0,03, *t* = 0,3 мм;
в) при *v* = 100 м/мин, *s* = 0,01, *t* = 0,1 мм

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее влияющим фактором на параметр шероховатости *Ra* является скорость резания *v*, менее значимыми являются подача *s* и глубина резания *t*. При изменении скорости от 100 до 300 м/мин происходит снижение параметра шероховатости *Ra*. Напротив подача на оборот *s* и глубина резания *t* со своим увеличением в заданном диапазоне, увеличивают шероховатость. Наиболее оптимальными режимами являются максимальная скорость резания (*v* = 300 м/мин) и минимальные подача и глубина резания (*s* = 0,01 мм/об и *t* = 0,1мм/об), что соответствует

наименьшему значению параметра шероховатости *Ra*, который варьируется от 0,25 до 0,45 мкм в зависимости от состава и долевого содержания наполнителя МКМ.

Список литературы

1. *Панфилов А.В., Панфилов А.А., Петрунин А.В.* Синтез, структура и свойства объемных наноструктурированных алюмоматричных композиционных материалов конструкционного назначения. – Нанотехника, №3(11), 2007, с.76-80
2. *Чернышова Т.А., Курганова Ю.А., Хобелев Л.И. и др.* Композиционные материалы с матрицей из алюминиевых сплавов, упрочненных частицами для пар трения скольжения. – Конструкции из композиционных материалов, 2007, вып. 3, с. 38 – 48.
3. *Adem O.* Mechanical and dry sliding wear properties of silicon carbide particulate reinforced aluminium-copper alloy matrix composites produced by direct squeeze casting method. – J. Alloys and Compounds. 2010, 489, N 1, c. 119-124.
4. *Chou K. Y., Liu J.* CVD diamond tool performance in metal matrix composite machining. – Surface and Coat. Technol. 2005, 200, N 5-6, c. 1872-1878.
5. *Adesta E.Y.T., Riza M., Hazza M. a.o.* Tool wear and surface finish investigation in high speed turning using cermet insert by applying negative rake angles. – European Jornal of Scientific Research 2009, vol.38, №2, pp.180-188.
6. *Sasimurugan T., Palanikumar K.* Analysis of the machining characteristics on surface roughness of a hybrid aluminium metal matrix composite (A16061-SiC-Al_2O_3) - Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 2011, vol 10, №13. pp.1213 – 1224.
7. *Залеснов А.И., Петухов Е.Н.* Износ режущих инструментов из сверхтвердых синтетических материалов при точении алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных дисперсными частицами Al_2O_3 и SiC. - Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011, №4/2(288), с.51-55.
8. *Спиридонов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

05.22.10

Н.С. Захаров д.т.н., Г.В. Абакумов к.т.н., А.Е. Мироненко

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, eom@tsogu.ru

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе рассматривается методика получения данных о влиянии сезонных условий на потребление электрической энергии приемниками зоны ТО и Р с целью дальнейшего их использования в расчетах прогнозирования затрат и определении норм расхода электроэнергии для автотранспортного предприятия.

Ключевые слова: *сезонные условия, прогнозирование энергопотребления, нормирование электрической энергии, автотранспортное предприятие.*

В современных условиях выбор подхода к управлению использования энергетических ресурсов предприятий с учетом особенностей функционирования промышленного производства является одним из ключевых моментов. Если ранее основной целью для обеспечения потребности в энергии являлось наращивание ее производства, то в настоящее время, как и на ближайшую перспективу, главными задачами выступает экономное расходование энергетических ресурсов и повышение эффективности их использования на всех стадиях – от производства до потребления.

В системе управления энергетическим хозяйством для достижения поставленных целей следует использовать как практические методы экономии энергии, основанные на использовании современных технологий, так и экономические методы, предусматривающие реализацию действенных подходов к управлению энергетическими ресурсами [1].

Можно выделить три составляющих эффективного управления энергопотреблением на промышленном предприятии, способствующих экономии электрической энергии:

а) экономия электрической энергии в результате борьбы с нерациональным расходом таковой (для ее осуществления почти не требуется специальных затрат или они не очень велики);

б) экономия электрической энергии при помощи технических и организационных мероприятий (требуются определенные затраты, которые окупаются в течение двух-четырех лет);

в) экономия электрической энергии в результате серьезной технологической перестройки (требуются значительные затраты капитала) [2].

В современных условиях в основном решаются задачи, связанные с реализацией первой и второй составляющих экономии электрической энергии. Третья, несмотря на высокий потенциал дальнейшего сохранения средств на электроэнергию, ввиду высоких затрат, на практике используется редко.

Расходование электрической энергии на промышленных предприятиях можно снизить при помощи реализации адекватных удельных норм ее расхода. При отсутствии конкретных научно обоснованных норм расхода и строгого контроля над их выполнением невозможно осуществить экономию энергоресурсов. Обоснованные нормы способствуют освоению новых, менее энергоемких, технологических процессов и ликвидации нерационального использования энергии. На практике используются три основных метода нормирования расхода энергоресурсов:

а) аналитически-расчётный;

б) опытно-производственный;

в) отчётно-статистический.

Аналитически-расчётный метод наиболее прогрессивен и научно обоснован. Он базируется на сочетании строгих технико-экономических расчётов величины материальных затрат с анализом производственных условий и резервов экономии энергоресурсов. Опытно-производственный метод применяется, когда невозможно провести прямые технические расчёты норм с требуемой точностью, они вводятся на основе опытных испытаний величины материальных затрат в производственных или лабораторных условиях. Отчётно-статистический метод наименее обоснован, с его помощью нормы устанавливаются на очередной плановый период по отчётно-статистическим данным о фактическом удельном расходе материалов за истекший период. Несмотря на большое значение в экономии энергоресурсов, имеются определенные сложности, связанные с расчетом норм.

Проблема методической обеспеченности нормирования расхода электрической энергии на современном этапе является острой на многих промышленных предприятиях. В лучшем случае, все инструктивные документы и методические рекомендации по нормированию представляют собой свод эмпирических формул и справочных данных для расчетов величины расхода электроэнергии по типам оборудования. Разработать научно-обоснованную норму электропотребления с помощью такого рода методик практически невозможно и экономически не всегда целесообразно [3] (учитывается недостаточное количество факторов, отсутствуют методы оценки точности, критерии выбора объектов нормирования, нет научной обоснованности рекомендаций по построению внутрипроизводственных систем нормирования и учета энергопотребления).

В условиях современной экономики возрастает важность прогнозирования энергопотребления на промышленных предприятиях. Рыночный отпуск электроэнергии по заявкам предприятий в настоящее время приобретает все более массовый характер, поскольку при переходе предприятия с регулируемого сектора на сектор свободной торговли, можно добиться существенной экономии средств. Но при этом появляются риски, связанные с неточностью заявленного расхода электрической энергии. Отклонения фактического потребления от заявленных значений больше определенного процента приводит к покупке электроэнергии по большей цене, а отклонение в меньшую сторону – оплате непоставленной электроэнергии, определяемой разницей между заявленным и фактическим потреблением по установленным расценкам.

Существенную часть издержек, связанных с избыточным или недостаточным потреблением, берет на себя предприятие, заказывающее электроэнергию. Для учета таких расходов введен сектор оптового рынка – так называемый сектор отклонений. Все факты превышения или снижения потребляемого объема электроэнергии за каждый час по сравнению с заказываемым объемом учитываются в соответствующих таблицах, после чего производится расчет стоимости отклонений (по Методике расчета стоимости отклонений) [4].

Чтобы рассчитать стоимость отклонений, используется система коэффициентов, образующих прогрессивную шкалу: отклонения менее 2% от заявки тарифицируются с коэффициентом 1,0 (таким образом, предприятие не несет дополнительных издержек при столь малых отклонениях); чем более серьезны отклонения, тем более крупные суммы предприятие вынуждено заплатить за допущенные несоответствия [5].

Сложность прогноза электропотребления обусловлена наличием большого числа потребителей и необходимостью учета многих факторов, влияющих на потребление электроэнергии (температура окружающего воздуха; степень освещенности; долгота дня; день недели; переходы с зимнего на летнее время и обратно; наличие экстраординарных событий (катастрофы, массовые акции); прогнозы погодных условий; состояние других факторов, влияющих на изменение потребления в соответствии с данными, полученными в результате обработки статистики потребления; планируемое включение/отключение энергоемких производств).

Задача прогнозирования потребления электроэнергии для эксперта предприятия является сложной и многоплановой. К сожалению, нельзя сказать, что какой-либо составляющей при

прогнозе можно пренебречь, поскольку вклад каждой составляющей значителен, а цена ошибки при допустимом отклонении в 2% за час потребления довольно велика. Небрежность в составлении прогноза хотя бы на одни сутки может привести к дополнительным издержкам в десятки, сотни тысяч рублей на погашение платежей сектора отклонений [4]. Таким образом, повышение точности прогнозирования расхода электроэнергии является важной задачей, в первую очередь, за счет своей экономической составляющей.

Анализируя результаты исследований в области нормирования и прогнозирования расхода электрической энергии, можно сделать вывод, что действующая в настоящее время система норм и прогнозов потребления электроэнергии на промышленных предприятиях не учитывает влияние условий окружающей среды, а в частности их сезонной составляющей, несмотря на то, что влияние сезонных условий существенно на всей территории Российской Федерации (а для северных регионов это наиболее важный фактор). К сезонным условиям относятся факторы, периодически изменяющиеся в течение года. Это, прежде всего, температура воздуха. Кроме того, меняются влажность, длина светового дня, солнечная радиация, запыленность, сила и направление ветра [7].

Значительное влияние на интенсивность расходования электрической энергии промышленными предприятиями оказывает температура окружающей среды.

Условия эксплуатации автомобильного транспорта влияют на число отказов и неисправностей, и, как следствие, на частоту проведения необходимых работ по техническому обслуживанию и ремонту. Последнее влечет за собой изменение расхода электрической энергии, необходимой для функционирования оборудования зоны ТО и Р автотранспортного предприятия [8].

Также стоит отметить влияние продолжительности светового дня на потребность предприятия в освещении. Сезонное увеличение продолжительности темного времени суток влечет за собой увеличение количества энергии, необходимой для освещения территории и помещений предприятия.

Исходя из вышесказанного, сезонные колебания климата оказывают значительное влияние на расходование электрической энергии, необходимой для проведения технического обслуживания и ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия. Этот факт необходимо учитывать при прогнозировании заявляемой электроэнергии и определении норм ее расхода. В связи с этим, выделим основные задачи исследования:

1 установить закономерности изменения потребления электрической энергии на автотранспортном предприятии в зависимости от сезонных условий;

2 разработать математическую модель закономерности изменения расхода электроэнергии с учетом влияния сезонной составляющей;

3 разработать методику прогнозирования энергопотребления с учетом этих закономерностей;

4 разработать методику нормирования энергопотребления с учетом этих закономерностей.

Для решения поставленных задач проводятся измерения количественных показателей энергопотребления оборудования зоны ТО и Р пассажирского автотранспортного предприятия. Наличие данных о расходе электрической энергии на протяжении срока не менее одного года позволит выявить степень влияния сезонных условий. Измерения проводятся без остановки процесса технического обслуживания и ремонта автомобилей благодаря использованию токоизмерительных клещей UNI-T UT 232 с точностью измерения 0,1 А (1 А для 1000 А) и погрешностью ±2%.

При измерениях проводник тока не разрывается и остаётся электрически изолированным от входов измерительного прибора. В результате чего низковольтные входы могут быть переведены в третье состояние (с высоким импедансом) или заземлены. Для выполнения измерения с помощью токового датчика нет необходимости прерывать подачу питания, что устраняет простои.

Токоизмерительные клещи устанавливаются в распределительном пункте зоны ТО и Р

автотранспортного предприятия и ежесекундно снимают данные о полной мощности, потребляемой электроприемниками. Эти данные в реальном времени записываются в портативный компьютер, подключаемый через USB-кабель к клещам. В дальнейшем по ним строятся помесячные гистограммы, позволяющие наглядно продемонстрировать динамику энергопотребления за рабочий день.

Динамику изменения потребления электроэнергии оборудованием зоны ТО и Р в течение года можно представить, используя средние значения энергопотребления, измеренные с 2011 по 2012 годы (рис. 1).

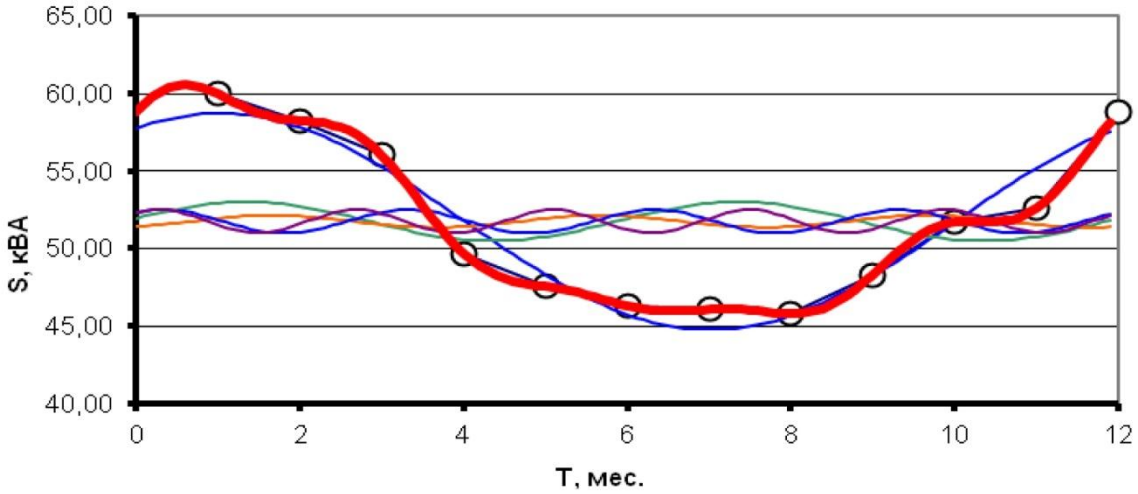


Рис. 1- Изменение усредненного помесячного значения полной мощности (S), потребляемой приемниками зоны ТО и Р

По показателям, характеризующим динамику потребления электроэнергии оборудованием зоны ТО и Р в течение года, можно сделать заключения:

а) сезонные факторы оказывают значительное влияние на расход электроэнергии оборудованием зоны ТО и Р;

б) процесс потребления электрической энергии и факторы, оказывающие влияние на данный процесс, циклически изменяются в течение года;

в) эти изменения с достаточной точностью представляются в виде гармонической модели.

Таким образом, анализ состояния вопроса о текущем состоянии методик прогнозирования потребности в электрической энергии и нормирования энергоресурсов показал, что:

1. сезонные условия оказывают влияние на расходование электроэнергии оборудованием зоны ТО и Р автотранспортного предприятия, что требует проведения исследований затронутого вопроса с целью использования полученных результатов при прогнозировании и нормировании энергопотребления;

2. методика сбора данных о потреблении электроэнергии, основанная на оценке динамики изменения полной мощности, потребляемой приемниками зоны ТО и Р, позволит разработать научно обоснованные нормы расходования электроэнергии.

Список литературы

1. *Шеметов А.Н., Ротанова Ю.Н.* Электроснабжение и электрооборудование автотранспортных предприятий. Учебное пособие. –Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 171 с.
2. *Праховник А.В.* Технические средства и концепция управления электропотреблением // Промышленная энергетика. – 1990. - № 4. – С. 2-4.
3. *Шуралев Д.В.* Прогнозирование удельных норм расхода электроэнергии на нефтехимических предприятиях [Электронный ресурс]: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Шуралев Дмитрий Владимирович. - М., 2005. - 167 с.
4. Методика расчета стоимости отклонений объемов фактического производства (потребления) электрической энергии участников оптового рынка от объемов их планового почасового производства (потребления). Приложение к Приказу ФСТ России от 24 августа 2004 г. №44-э/3//Российская газета. 2005 г. Федеральный выпуск №3818.
5. Прогноз потребления электроэнергии//URL:http://www.basegroup.ru/ solutions/case/electra/ (дата обращения: 14.02.2012г.).
6. Захаров Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.
7. *Вознесенский А.В.* Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук: 05.22.10. / Вознесенский Анатолий Викторович. – Тюмень, 2006. – 146 с.
8. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» (ТюмГНГУ)

ул. Володарского, д. 38, г. Тюмень, 625000
тел. (3452) 25-69-77, факс: (3452) 25-69-70, E-mail: general@tsogu.ru, http://www.tsogu.ru

_____ № _____
На № _____ от _____

Главному редактору журнала
«Научно-технический вестник
Поволжья»
Р.Х. Шагимуллину

Уважаемый Рафаэль Хасбиуллович!

В выпуске №4 текущего года были напечатаны статьи, подготовленные сотрудниками вуза Н.С. Захаровым, В.Г. Логачевым, В.А. Тюлькиным, И.В. Яблочкиным – Влияние температуры окружающего воздуха на скоростной режим при движении автомобилей по магистральным дорогам и Влияние осадков на скоростной режим при движении автомобилей по магистральным дорогам.

В процессе подготовки к публикации статей сотрудником кафедры Тюлькиным В.А., ответственным за набор текста, у одного из авторов была допущена опечатка в фамилии, что выразилось в ее неправильном написании. Вместо «Логачев» в статьях было напечатано «Логинов» при том, что в регистрационных формах присутствовало правильное написание.

В этой связи убедительная просьба внести коррективы в части правильного написания фамилии в электронную версию выпуска №4 журнала, а также упомянуть об опечатке в последующем номере.

Д.т.н., профессор	Н.С. Захаров
Д.т.н., профессор	В.Г. Логачев
К.т.н., доцент	В.А. Тюлькин
Ассистент	И.В. Яблочкин

05.23.11

Ф.Н. Захаров, В.П. Валуйских д.т.н.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
кафедра «Сопротивление материалов»,
Владимир, zaharof2010@yandex.ru

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРОЧНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Определены и проанализированы гидравлические параметры запатентованной инновационной конструкции арочной водопропускной трубы, оценена эффективность её применения при расчётном расходе для равнинных условий работы.

Ключевые слова: *железобетонные водопропускные трубы, арочные водопропускные трубы, полуэллиптические, полукольцевые, гидравлические параметры водопропускных труб, расход водопропускных труб.*

Малые водопропускные сооружения, преимущественно - водопропускные трубы (ВПТ), являются самыми распространёнными видами искусственных сооружений на автомобильных дорогах Российской Федерации. С 2010 года сотрудники кафедры «Сопротивление материалов» ВлГУ разрабатывают ВПТ, обладающие низкой материалоёмкостью (в зависимости от типоразмера - на 35÷40 % ниже аналогов) и повышенной эксплуатационной надёжностью [1 - 5]. Предлагаемые инновационные ВПТ имеют очертание полуэллипса (ПЭ-ВПТ), вытянутого в вертикальной плоскости, и включают в себя арку и опорную фундаментную плиту. В настоящее время подготовлено производство ПЭ-ВПТ (рис. 1) в цехе ЖБИ ГУП ДСУ-3 в п. Мелехово Владимирской области.

Продвижение предлагаемого инновационного продукта осложнено отсутствием данных о гидравлических характеристиках ПЭ-ВПТ. Существующие инженерные методики расчёта малых ВПТ, основанные на значительных допущениях, позволяют лишь приближённо определить гидравлические характеристики ПЭ-ВПТ.

Рис. 1 - Комплект элементов ПЭ-ВПТ

Целью проводимых исследований является установление и оценка гидравлических характеристик ПЭ-ВПТ. Задачей исследований является экспериментальное определение величины расхода и скорости потока на выходе для ПЭ-ВПТ и сравнение данных с

результатами испытаний в тех же условиях кольцевых ВПТ (К-ВПТ) и полукольцевых ВПТ (ПК-ВПТ) эквивалентной площади водопропускного отверстия.

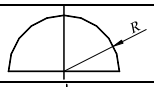
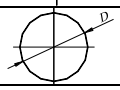
Для эксперимента использован лабораторный стенд «Гидравлический лоток» с установленным в нём макетом ВПТ. Расход воды измеряется ультразвуковым расходомером на подающем трубопроводе лотка при стабилизации уровня напора на входе в макет. Для измерения мгновенной скорости в точках поперечного сечения потока на выходе используется трубка Пито.

При проведении испытаний исследуется диапазон напора до $H_м$=14 см (в натуре - H=1,4 м), что соответствует условиям эксплуатации наиболее распространённых равнинных ВПТ и позволяет смоделировать безнапорный и полунапорных режим протекания воды.

Для проведения испытаний используются макеты ВПТ, изготовленные из органического стекла в масштабе 1:10 (M=1:10, табл.1), имеющие раструбные оголовки на входе и установленные в лотке с уклоном i=0,01.

Переход от расхода воды для макета $Q_м$ к расходу в натуре $Q_н$, когда в жидкости действует только сила тяжести, возможен при равенстве чисел Фруда [6], т.е. $Fr_м=Fr_н$.

Таблица – Натурные и макетные размеры

Форма поперечного сечения ВПТ	Размеры, см	
	модель	в натуре
	R = 7	R = 70
	a = 6, b = 8,5	a = 60, b = 85
	D = 10	D = 100

Основываясь на критерии подобия Фруда, для расчёта гидравлических характеристик в натуре использовали формулы:

а) для расхода воды

$$Q_н = Q_м M^2 \sqrt{M}\ ; \qquad (1)$$

б) для скорости воды в трубе

$$V_н = V_м \sqrt{M}\ , \qquad (2)$$

где: $Q_м$ и $V_н$ – замеренные при моделировании расходы воды и скорости её течения; M – коэффициент моделирования $M=10$.

На рис. 2 представлен график зависимости $Q_м$ (1) при различной величине напора для рассматриваемых вариантов ВПТ. Расход арочных труб выше К-ВПТ при величине напора до H=1,3 м. Расход ПЭ-ВПТ и ПК-ВПТ близки до напора H=0,84 м.

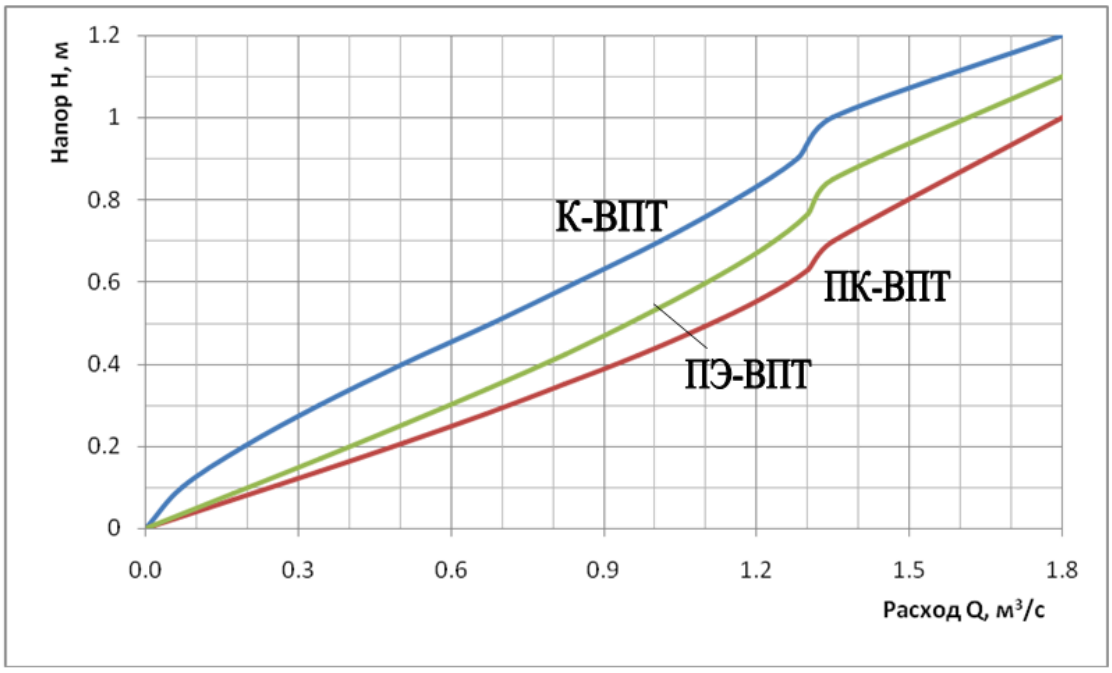


Рис. 2 - Расход ВПТ

С повышением напора скорость потока в ПЭ-ВПТ и ПК-ВПТ возрастает стремительней потока в К-ВПТ. По высоте убывание скорости происходит от нижней границы сечения к верхней. По ширине ПЭ-ВПТ и ПК-ВПТ в распределении скорости потока в нижней части наблюдается равномерность, в отличии от К-ВПТ, для которого прослеживается увеличение скорости к середине сечения.

Эпюры распределения скоростей потоков приведены на рис. 3.

При равной водопропускной площади до величины напора H=1,3d (d=2R – диаметр отверстия К-ВПТ) расход малых ПК-ВПТ и ПЭ-ВПТ на 30÷35% превосходит расход К-ВПТ.

Средние скорости потоков воды на выходе из ПК-ВПТ и ПЭ-ВПТ на 9÷12% меньше, чем в К-ВПТ, распределяется равномерно по ширине потока, что уменьшает заиливание ВПТ и снижает размыв грунта в нижнем бьефе.

При напорном режиме работы всех вариантов ВПТ (характерном для экстремального пропуска воды: обычно – ранний весенний период; редко – летние ливни) различие водопропускной способность не существенное – в пределах точности эксперимента.

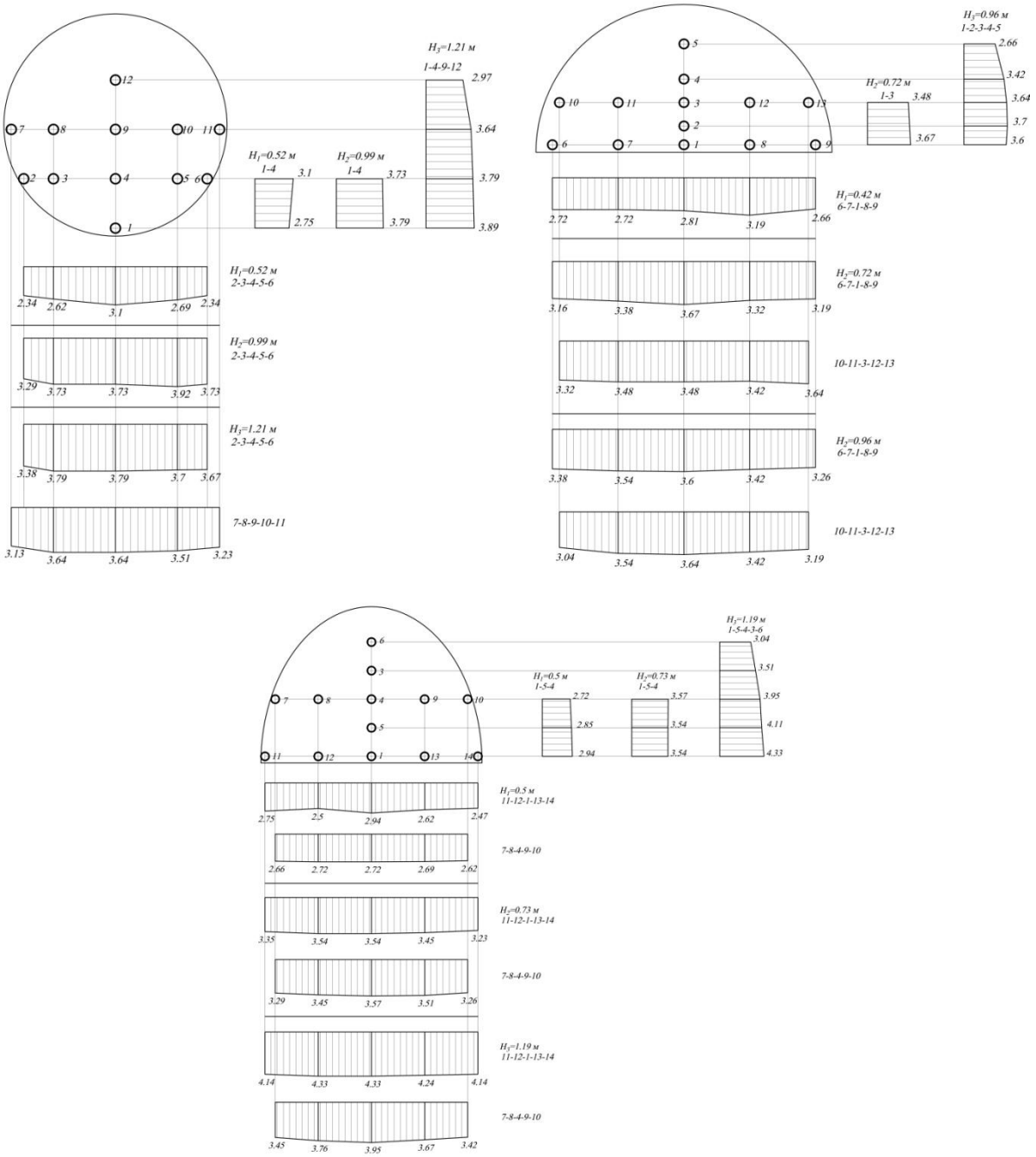


Рис. 3 - Эпюры скоростей потока ВПТ

Следует обратить внимание, что при пропуске статистически средних объёмов воды ($Q_м$ = 1,0÷1,5 м^3/с) в летний период подъём уровня воды на верхнем бьефе для ПК-ВПТ на 25% и для ПЭ-ВПТ на 17% меньше чем для К-ВПТ. Меньший подъём воды на верхнем бьефе снижает подтопление насыпи и её водонасыщение в наиболее неблагоприятные, летние и осенние периоды эксплуатации автомобильных дорог.

Таким образом, внедрение ПЭ-ВПТ и ПК-ВПТ, кроме снижения материальных и финансовых затрат [3, 4], обеспечит (в сравнении с К-ВПТ) более эффективный отвод воды и высокую эксплуатационную надёжность автомобильных дорог.

Список литературы

1. *Захаров Ф.Н., Валуйских В.П.* Водопропускная труба под дорожной насыпью // Патент России № 104564. 2011.
2. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н.* Поиск рациональных геометрических параметров контура водопропускных труб // Итоги строительной науки 2010: М-лы МНТК. – Владимир: ВлГУ, 2010. – С. 253-256.
3. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н.* Рациональные водопропускные трубы для автомобильных дорог // Инновации в строительстве и архитектуре: Монография. – Владимир: ВлГУ, 2011. – С. 149-161.
4. *Захаров Ф.Н., Валуйских В.П.* К оценке эффективности водопропускных труб с различной формой поперечного сечения // Итоги строительной науки: М-лы VI МНТК / Под общей ред. докт. техн. наук Б.Г. Кима. – Владимир: ВлГУ, 2010. – С. 215-219.
5. *Захаров Ф.Н., Валуйских В.П.* Конструктивный ряд водопропускных труб для автомобильных дорог // Научно-технический вестник Поволжья. №1. 2012. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – С. 139-143.
6. *Михалёв М.А.* Физическое моделирование гидравлических явлений // СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 443 с.

05.13.18

В.Н. Иванов к.т.н., Л.В. Лобачева, В.В. Кундряков

Тверской государственный технический университет,
кафедра природообустройство и экология,
Тверь, firslud@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОДЗЕМНОМ ПОТОКЕ ОТ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Приведены результаты моделирования процессов миграции загрязняющих веществ от полигона твердых бытовых отходов в грунтовые воды. Установлена динамика распределения загрязнений в толще объекта исследования до озера. Сделан прогноз распространения загрязнений от полигона в поверхностных водах озера Селигер.

Ключевые слова: *моделирование, миграция, фильтрация, сорбция, полигон твердых бытовых отходов (ТБО).*

Загрязнение почвы обычно связано с различными процессами жизнедеятельности человека, например формированием бытовых и промышленных отходов. Наиболее опасным агентом свалок, влияющим на общее загрязнение природной среды, является фильтрат, который через почву и зону аэрации попадает в горизонт грунтовых вод и загрязняет его.

В природных условиях распространение загрязняющих веществ в подземных и поверхностных водах происходит под влиянием большого числа факторов, к их числу относится конвективный перенос мигрантов потоком жидкости, молекулярная диффузия, сорбционные процессы, химические реакции, отбор загрязняющих веществ корнями растений, разнообразные микробиологические процессы и т.д. [3] На практике при математическом моделировании учитывают влияние только нескольких наиболее важных в рассматриваемых условиях факторов, влиянием же остальных (второстепенных или недостаточно изученных) пренебрегают или учитывают их косвенно при нахождении гидрохимических параметров (коэффициентов системы уравнений математической модели) по экспериментальным данным.

В данной работе исследовалось распространение загрязняющих веществ от полигона твердых бытовых отходов в грунтовые воды, поступающие в озеро Селигер.

Полигон ТБО расположен в неблагоприятных гидрогеологических условиях, у подножия склона в водоохранной зоне в 60-65 м от озера Селигер. В районе участка геологический разрез верхней толщи представлен достаточно мощным слоем песчаных отложений, преимущественно мелких и средних по гранулометрическому составу, озерно-аллювиального происхождения. Уровень грунтовых вод в пробуренных скважинах близок к поверхности земли и располагается в интервале 1.5-2.0 м.

Анализ гидрогеологических условий показывает, что разгрузка грунтовых вод под свалкой происходит в озеро Селигер. Фильтрационный поток с достаточной точностью можно считать прямолинейным по направлению от свалки к озеру

Для получения данных о текущем загрязнении грунтовых вод и определении значений необходимых при математическом моделировании параметров нами проводилось обследование изучаемого объекта. Были отобраны монолиты почвогрунта ненарушенной структуры для проведения в дальнейшем лабораторных экспериментов по определению фильтрационных и гидрохимических параметров. Отбирались также пробы грунтовых вод.

По результатам химических анализов проб грунтовых вод в качестве основного ингредиента при прогнозировании воздействия свалки на грунтовые и поверхностные воды был выбран аммонийный азот и нитратный азот, так как их концентрация в грунтовых водах исследуемого фильтрационного потока значительно превышает предельно-допустимую

концентрацию (ПДК). Горизонтальное распространение загрязняющих веществ в направлении фильтрационного потока (рис. 1) описывается краевой задачей [1]:

$$\begin{aligned} &n_a \frac{\partial C_1}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - v \frac{\partial C_1}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial t} + k_1 C_2 - k_2 C_1, \\ &\frac{\partial N_1}{\partial t} = -\beta(\alpha N_1 - n_a C_1), \\ &n_a \frac{\partial C_2}{\partial t} = D_2 \frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} - v \frac{\partial C_2}{\partial x} - k_1 C_2. \end{aligned} \quad (1)$$

Система уравнений (1) решается при следующих начальных и граничных условиях:

$$t = 0: C_1(x, 0) = C_{10}(x),\ C_2(x, 0) = C_{20}(x),\ N_1(x, 0) = C_{10}(x) \cdot n_a / \alpha, \quad (2)$$

$$t > 0 \begin{cases} x = 0: [C_1(0,t) - C_{n1}] \cdot V = D_1[\partial C_1(0,t) / \partial x], \\ \qquad [C_2(0,t) - C_{n2}] \cdot V = D_2[\partial C_2(0,t) / \partial x], \\ x = L: \partial C_1(L,t) / \partial x = 0,\ \partial C_2(L,t) / \partial x = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь введены следующие обозначения: $C_1(x, t)$, $C_2(x, t)$ – концентрация ионов NH_4^+ и NO_3^- в поровом растворе, соответственно, мг/дм^3; $N_1(x, t)$ – количество ионов NH_4^+, сорбированное твердой фазой почвогрунта, г/м^3; C_{n1}, C_{n2} – концентрация ионов NH_4^+ и NO_3^- в поровом растворе, поступающем через сечение x = 0, мг/л; $D_1 = D_{м1} + \lambda_1|V|$; $D_2 = D_{м2} + \lambda_2|V|$ – коэффициенты конвективной диффузии соответствующих ионов, м^2/сут; D_{M1}, D_{M2} – коэффициенты молекулярной диффузии, м^2/сут; λ_1, λ_2 - параметры дисперсии, м; V – скорость фильтрации, м/сут; n_a –активная пористость грунта; β – коэффициент скорости сорбционного обмена, сут$^{-1}$; α – коэффициент распределения; k_1 – коэффициент скорости трансформации, сут$^{-1}$; k_2 – эмпирический коэффициент, учитывающий процессы, приводящие к снижению концентрации иона NH_4^+ в поровом растворе за счет транспирации корнями растений, разбавления инфильтрационными водами, сут$^{-1}$; $C_{10}(x)$, $C_{20}(x)$ – начальные распределения концентрации ионов NH_4^+ и NO_3^- в поровом растворе, мг/дм^3; x – горизонтальная координата, м; t - время, сут.

Распространение загрязняющих веществ по вертикали вглубь почвогрунтовой толщи описывается системой уравнений [1]:

$$n_a \frac{\partial C_2}{\partial t} = D_{M1} \frac{\partial^2 C_1}{\partial z^2} - \frac{\partial N_1}{\partial t} + K_1 C_2 \quad (4)$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = -\beta(\alpha N_1 - n_a C_1) \quad (5)$$

$$n_a \frac{\partial C_2}{\partial t} = D_{M2} \frac{\partial^2 C_2}{\partial z^2} - K_1 C_2 \quad (6)$$

при следующих начальных и граничных условиях:

$$t = 0: C_1(z, 0) = C_{10}(z),\ C_2(z, 0) = C_{20}(z),\ N_1(z, 0) = C_{10}(z) \cdot n_a / \alpha, \quad (7)$$

$$t > 0 \begin{cases} z = 0: C_1(0,t) = C_{n1}];\quad C_2(0,t) = C_{n2}, \\ z = L: \partial C_1(L,t) / \partial z = 0,\ \partial C_2(L,t) / \partial z = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь z – вертикальная координата, отсчитываемая от поверхности грунтовых вод и ориентированная вниз. Остальные обозначения имеют прежний смысл.

Решение приведенных выше краевых задач осуществлялось методом конечных разностей с использованием консервативной конечно-разностной схемы [2]. Составлена соответствующая программа для ЭВМ, позволяющая проводить расчет распространения загрязнений в грунтовых водах при конкретных значениях исходных данных.

Результаты, полученные при математическом моделировании миграции загрязнений вглубь почвогрунтовой толщи на период длительностью 100 лет, позволили выяснить

характер распределения ионов NH_4^+ и NO_3^- по глубине и установить зависимости приведенной глубины распространения этих ингредиентов (рис.2) в зависимости от времени существования полигона. Различие в графиках вызвано тем, что в процессе миграции ион NH_4^+ частично поглощается почвенно-поглощающем комплексом (ППК), а ион NO_3^- не сорбируется почвой.

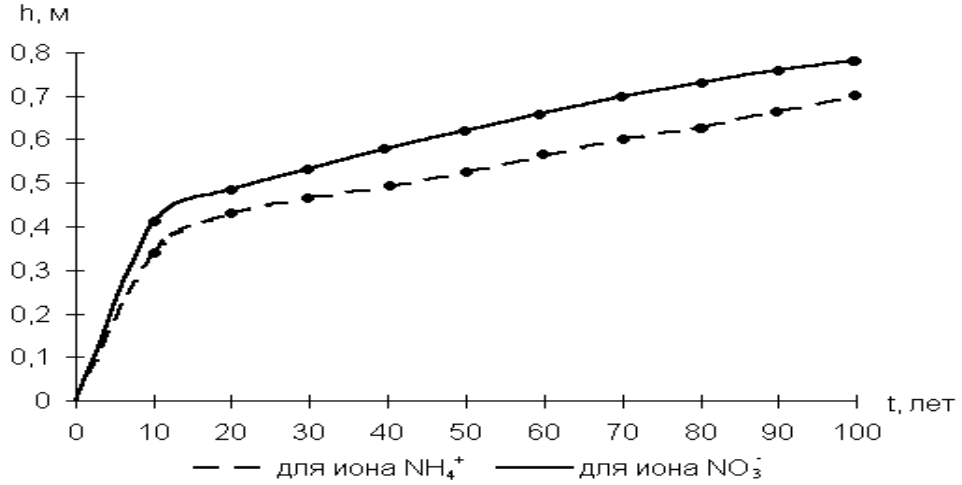


Рис. 1 – Зависимость приведенной глубины распространения ингредиента от времени

В связи с тем, что полученные при расчетах концентрации иона NO_3^- на всем протяжении фильтрационного потока значительно меньше ПДК, в дальнейшем анализируются результаты прогнозных расчетов только для иона NH_4^+.

Анализ результатов горизонтальной миграции ионов NH_4^+ на период времени 50 лет, что примерно соответствует прогнозируемому загрязнению подземных вод на настоящее время показал, что на кривых, характеризующих распространение иона NH_4^+ в почвогрунтовой толще фильтрационного потока (рис.3) можно выделить три зоны: 1) зона максимального загрязнения грунтовых вод, где концентрация иона NH_4^+ приближается к его концентрации в фильтрате (64 мг/дм^3); 2) переходная зона - зона смешения загрязненных вод с чистыми подземными водами; 3) зона с минимальным загрязнением грунтовых вод, где концентрация близка к ее фоновому значению в подземных водах (1.3 мг/дм^3).

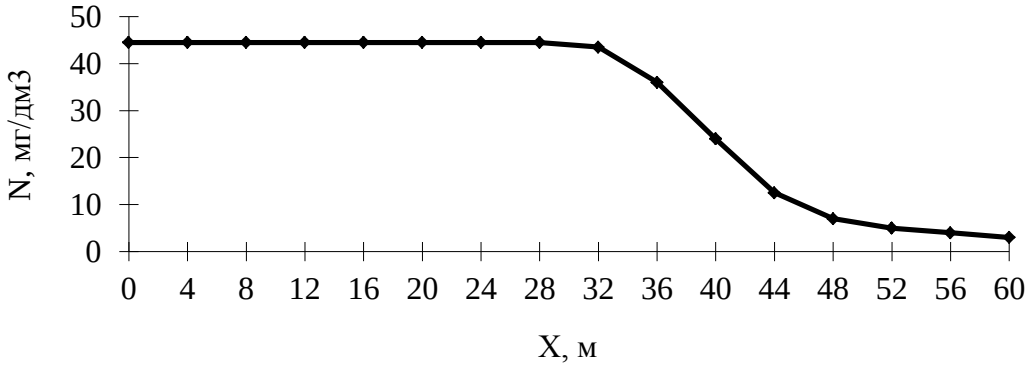


Рис. 2 – Распределение концентрации иона NH_4^+ в ППК вдоль фильтрационного потока при t = 50 лет

Из результатов исследований следует, что через 50 лет после начала функционирования свалки ТБО фронт загрязнений грунтовых вод с максимальной концентрацией аммонийного азота распространится примерно на 35 метров от границ свалки. При этом распространение загрязнений происходит со скоростью, меньшей скорости движения порового раствора,

благодаря буферным свойствам почвы (ионы NH_4^+ поглощаются ППК по мере продвижения в почве с фильтрационным потоком).

Для прогноза загрязнения вод озера Селигер был построена кривая изменения концентрации NH_4^+ в фильтрационном потоке, поступающем в озеро со стороны свалки ТБО (рис.5). Данные рисунка, позволяют сделать вывод о том, что ионы аммония начинают поступать в озеро примерно после 35 лет эксплуатации свалки, а максимальная концентрация аммонийного азота (64 мг/л) загрязнений в выклинивающемся в озеро Селигер фильтрационном потоке будет достигнута приблизительно через 100 лет.

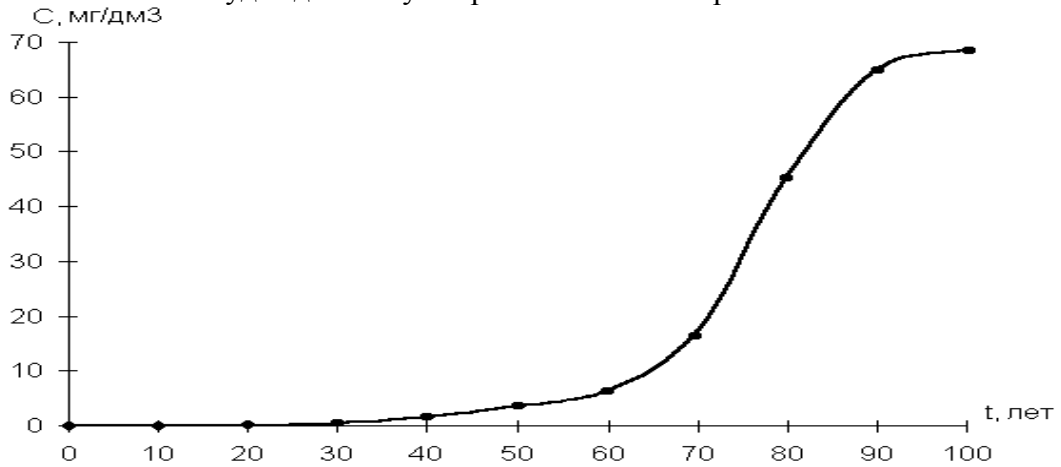


Рис. 3 – График изменения концентрации иона NH_4^+ в выходном сечении фильтрационного потока в зависимости от времени
($t_1 \approx 35$ лет - начало поступления загрязненных подземных вод в озеро Селигер)

С использованием зависимости распределения концентрации иона NH_4^+ в грунтовых водах вдоль фильтрационного потока было рассчитано суммарное (накопленное) поступление загрязнений в озеро с момента $t_1(Q)$ (рис. 4).

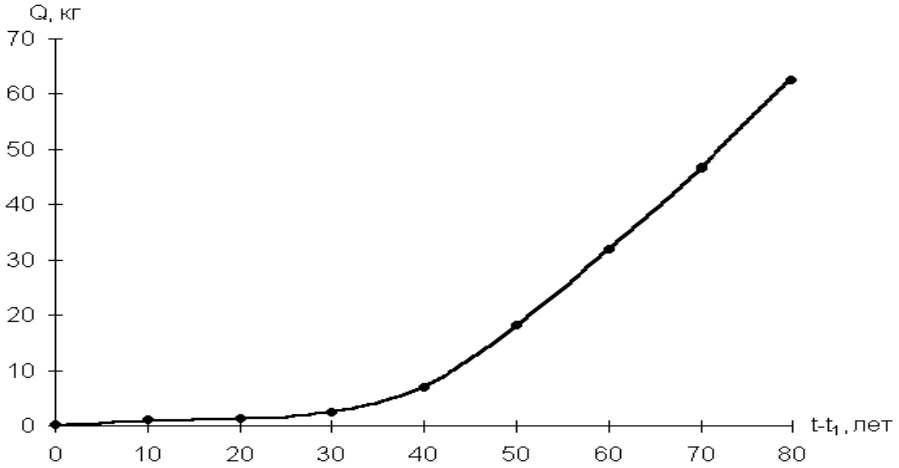


Рис. 4 – Суммарное поступление иона NH_4^+ в озеро Селигер с фильтрационным потоком с момента начала поступления загрязнения в озеро.

На основании результатов оценки суммарного поступления аммонийного азота в озеро был сделан вывод, что через 100 лет ионы NH_4^+ практически полностью заполнят поровое пространство между свалкой и озером с максимальной концентрацией 64 мг/дм^3.

Результаты моделирования миграции ингредиентов согласуются с данными полевых исследований вблизи полигона.

Проведенные исследования по изучению влияния полигона ТБО на загрязнение подземных вод позволили установить динамику распределения компонентов фильтрата свалки в почвогрунтовой толще.

Данные исследования являются основанием к проведению в районе полигона мероприятий по защите подземных вод от загрязнения.

Список литературы

1. *Косов В.И., Шульгин Д.Ф., Клыков В.Е., Иванов В.Н.* Математическое моделирование природных экосистем. – Тверь: ТГТУ, 1998. – 255 с.
2. *Кулик В. Я.* Прикладные расчеты на ЭЦВМ влагопереноса в зоне аэрации. – М.: Недра, 1979. –160 с.
3. *Пашкевич М.А.* Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду.– СПб: Санкт-Петербургский горный ин-т, 2000. – 230 с.

05.16.07

А.М. Игнатова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И СИЛИКАТНОЙ ФАЗ РАСПЛАВА ПРИ УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И НЕРУДНОГО СЫРЬЯ

В статье изложены основные химические реакции и последовательность физико-химических процессов предшествующих расслоению минерального расплава на металлическую и силикатные фазы.

Ключевые слова: *Петургия, каменное литье, ликвация, дифференциация, расслоение, силикатный расплав.*

Существует несколько направлений переработки техногенного металлургического и природного нерудного сырья, осваивать их с высокой эффективностью и практически в полном объеме без образования отходов позволяют петургические методы [1-3].

В процессе плавления нерудного и техногенного металлургического сырья (шлаков и т.д.) протекает ряд физико-химических процессов, приводящих к разделению расплава на две жидкие фазы – силикатную и металлическую. Для эффективного управления таким процессом петургической переработки необходимо изучение и выявление закономерностей формирования и разделения металлической и силикатной фаз расплавов, в частности в условиях электродугового плавления в печах руднотермического типа.

Цель работы выявить и установить закономерности формирования и разделения петургического расплава на металлическую и силикатную фазы в условиях восстановительной плавки в электродуговом плавильном агрегате с угольным электродами.

Объектом исследования является сырье для получения синтетических минеральных сплавов – петургических материалов, химический состав компонентов шихты представлены в табл.1. Минералогический состав рассматриваемой шихты включает в себя роговую обманку($Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$), альбит($Na[AlSi_3O_8]$), оливин ($(Mg,Fe)_2[SiO_4]$), диопсид($CaMg(Si_2O_6)$), хромит($FeCr_2O_4$), флюорит ($CaF_2$) и кварц ($SiO_2$), присутствуют амфиболиты и ряд других силикатов.

Таблица 1

Химический состав компонентов шихты для получения петрургических материалов

Компонент шихты	Массовая доля, %														
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	Fe_2O_3	MgO	MnO	K_2O+Na_2O	Cr_2O_3	TiO_2	V_2O_5	P_2O_5	S	CaF_2	П.п.п.
Горнблендит	37,0	13,0	8,3	5,8	8,9	10,8	-	1,7	-	1,1	-	-	-	-	13,4
Хромитовая руда	6,9	-	1,2	4,7	9,7	14,5	-	-	45,0	-	-	-	-	-	18,0
Базальт	45,5	15,0	11,5	9,1	2,5	11,0	-	2,4	-	1,0	-	-	-	-	2,0
Кварцевый песок	95,0	2,0	0,3	1,3	0,5	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Плавиковый шпат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,0	7,0
Доменный шлак (г. Чусовой)	25,0	15,5	31,0	2,0	-	12,5	0,5	-	-	9,0	0,2	-	4,3	-	-
Доменный шлак (г. Магнитогорск)	34,7	9,3	34,8	0,3	5,4	9,7	1,2	2,3	-	-	-	0,3	0,4	-	1,6

Восстановительная плавка шихты осуществлялась в лабораторной электродуговой плавильной установке. Поскольку в твердом состояние шихта не электропроводна, то розжиг дуги и запуск установки имеет некоторые особенности. На дно плавильного пространства погружается небольшое количество увлажненной шихты с присыпкой серебристого графита, электроды погружаются в шихту на глубину 20-30 мм. На электроды подается переменный ток напряжением 380В от силового трансформатора. Между электродом и графитовой подиной проходит электрический ток и возбуждение. Затравочная порция шихты расплавляется и становится электропроводной. Далее постепенно производят дополнительную верхнюю загрузку шихты, доводя объем расплава до требуемого. После чего дугу гасят, а дальнейший нагрев расплава осуществляется пропусканием электрического тока через него. Величина рабочего тока зависит от степени погружения электродов в расплав.

С повышением температуры кислородные связи ослабевают, чем сильнее они ослабевают, тем выше способность компонентов к восстановлению.

Температура плавления петрургического расплава 1250-1300°С, однако, как правило расплав перегревают на 200-250°С, для того, что бы обеспечить необходимые физико-химические и технологические свойств (жидкотекучесть, вязкость, электропроводность, поверхностное натяжение и т.д.) [4].

Следует отметить, что каменный расплав имеет ряд физических особенностей влияющих не только на технологические свойства в целом, но и на способность расплава к расслоению на силикатную и металлическую фазы. К таковым относятся плотность, вязкость, электропроводность и поверхностное натяжение.

Различие плотности металлического и силикатного расплава пожалуй является основным фактором способствующим механическому разделению расплава на жидкие фазы. Для того что бы разделение прошло успешно необходимо, что бы плотность силикатной фазы отличалась от плотности металлического слоя приблизительно в 2-3 раза [5]. Плотность петрургического расплава составляет 2,7 г/см^3, а плотность металлического слоя, отделяющегося в процессе плавления составляет приблизительно 6-7 г/см^3, что способствует разделению.

От вязкости зависит скорость осаждения металлических капель из силикатного расплава. Высокая вязкость силикатной фазы затрудняет осаждение, но при повышение температуры вязкость снижается. Однако, при чрезмерном повышение температуры силикатная фаза может так же расслоится (возникнет ликвация). Наиболее оптимальный показатель вязкости

с учетом указанных особенностей составляет от 200 до 220 Па·с и достигается при перегреве расплава до 1600°С.

При перегреве расплава можно также повысить его электропроводимость и интенсифицировать процесс плавки. Электропроводность обеспечивается за счет переноса легкоподвижных ионов Fe^{2+}, Fe^{3+}, Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+} и др. Опыт петрургии указывает, на то что при увеличение концентрации кремнезема электропроводность снижается, а сопротивление увеличивается в интервале от 0,1 до 0,6 $Ом^{-1}$·см, следовательно при расслоение силикатная и металлическая фазы будут отличатся друг от друга еще и уровнем электропроводности.

Ввиду химического (углерод электродов) и электрохимического (катодного) восстановления в процессе плавки уменьшается степень окисленности расплава Fe^{3+}:Fe^{2+}, а также снижается общее содержание в нем железа за счет процесса $Fe^{2+} \rightarrow Fe_{мет}$.

Интенсивность процессов восстановления зависит от продолжительности контакта расплава с электродами. Расплав металлической фазы, накапливающийся на подине в ходе плавки, в результате восстановления железа вторично окисляется за счет кислорода и Fe^{3+} силикатного слоя. При этом происходит угар углерода и кремния. В конце процесса (280—320 час) при ремонте из печи извлекается до 500 *кг* сплава, содержащего 0,09—0,10%С и 0,05—0,06% Si. Восстановление Fe^{3+} до Fe^{2+} благоприятно сказывается на кристаллизационной способности расплава. Появляющаяся металлическая подушка предохраняет подину от агрессивного разъедания расплавом.

Достаточный уровень поверхностного натяжения позволяет формировать четкую границу между слоями расплава, устойчивость которой определяет во много состав разделенных фаз, поскольку, чем выше поверхностное натяжение, тем медленнее и затруднительнее обмен между разнородными жидкостями. В расплаве присутствуют MgO, FeO и Al_2O_3, которые способствуют повышению поверхностного натяжения.

Исследования указывают, на то что процесс разделения расплава на силикатную и металлическую фазу разделяется на несколько стадий.

Первая стадия. В результате термического разложения пироксены и амфиболиты, входящие в состав горнблендита выделяют пары воды и СО. Именно оксид углерода взаимодействует с оксидами железа в шихте на данной стадии, отсутствует контакт железа и углерода элетрода.

Протекают следующие реакции:

$$3Fe_2O_3+CO=2Fe_3O_4+CO_2\uparrow \quad (1)$$

$$Fe_3O_4+4CO=3Fe+4CO_2\uparrow \quad (2)$$

Температура протекания этих реакций 700-800°С, на данном этапе в шихте уже образуются некоторые нуклеации жидкой фазы образованные легкоплавкими компонентами и SiO_2. Указанные реакции протекают как раз на границе жидкой фазы и твердых компонентов, для данных условий характерно наличие следующих транспортных реакций:

$$FeO_{тв} +CO\uparrow \leftrightarrow Fe_{тв} +CO_2\uparrow \quad (3)$$

$$CO_2\uparrow + C_{тв} \leftrightarrow 2\ CO\uparrow \quad (4)$$

$$FeO_{тв} +H_2\uparrow \leftrightarrow Fe_{тв} +H_2O\uparrow \quad (5)$$

$$H_2O\uparrow + C_{тв} \leftrightarrow H_2\uparrow + CO\uparrow \quad (6)$$

Наличие транспортных реакций не обеспечивает выделение металлического железа в виде отдельных нуклеаций, оно постоянно участвует в химическом процессе.

Вторая стадия. На этой стадии наблюдается непосредственный контакт расплава с электродом и твердыми частицами углерода отделившимися от него. Протекает разложение минералов, образование вторичных минеральных фаз и восстановление кремния и железа. В контексте изучения разделения силикатной и металлической фазы наибольший интерес естественно представляют процессы восстановления кремния и железа.

С участием железа протекают следующие реакции:

$$Fe_3O_4+C\rightarrow 3FeO+CO\uparrow \quad (7)$$

$$FeO+C\rightarrow Fe+CO\uparrow \quad (8)$$

Металлическое железо не только образует нуклеации и начинает отделятся от силикатной, но еще и взаимодействует с углеродом, образуя Fe_3C.

Третья стадия. По мере удаления железа из силикатной фазы, постепенно в ней начинает образовываться карбид кремния, повышается концентрация элементарного и окисленного кремния, изменяется температура и физические свойства силикатной фазы. При этом в металлической фазе возрастает концентрация элементарного кремния.

Иными словами начальный этап разделения и формирования отдельных жидких фаз сопровождается изменением характера окислительно-восстановительных реакций:

$$FeO_ж+C_{тв} \leftrightarrow Fe_ж+CO\uparrow \quad (9)$$

$$3FeO_ж+SiC_{тв} \leftrightarrow 3Fe_ж+SiO_{2ж}+CO\uparrow \quad (10)$$

$$SiO_{2ж}+3C_{тв} \leftrightarrow SiC_{тв}+2CO\uparrow \quad (11)$$

Важно, что карбид кремния образуется в расплаве только при полном восстановление железа, эти процессы не являются параллельными.

Четвертая стадия. Основная часть карбида кремния образуется в так называемой реакционной зоне, то есть той части силикатного расплава которая находится в верхних слоях, непосредственно рядом с электродом:

$$SiO_{2ж}+3C_{эл.}=SiC_{тв.}+2CO\uparrow \quad (12)$$

$$SiO_{2\,ж}+2C_{эл.}=Si_{мет}+2CO\uparrow \quad (13)$$

$$SiO_{2\,ж}+C_{эл.}=SiO_ж+CO\uparrow \quad (14)$$

Перед разделением как таковым создается ситуация когда в силикатном расплаве нуклеации металлического расплава находятся во взвешенном состояние, на этом этапе устанавливается «промежуточное равновесие». При котором так же протекают реакции (в квадратных скобках составляющие металлической фазы):

$$FeO_ж+SiC_{тв} \leftrightarrow [FeSi_ж]+CO\uparrow \quad (15)$$

$$[FeSi_ж]+2FeO_ж \leftrightarrow [3Fe_ж]+SiO_{2\,ж} \quad (16)$$

Поскольку карбид взаимодействуя с оксидом железа активно образует газообразный оксид углерода в расплаве возникает конвективное движение, которое приводит к тому, что во-первых, данные процессы протекают сразу по всему объему силикатной фазы, а во-вторых, к тому что в реакционной зоне («вспученном» верхнем слое) процесс образования карбида кремния инициируется, так же инициируется участие оксида кальция, протекают следующие реакции:

$$C_{тв}+Si_ж \leftrightarrow SiC_{тв} \quad (17)$$

$$CaO+3C=CaC_2+CO\uparrow \quad (18)$$

В результате всех описанных процессов формируются достаточно крупные капли металлической фазы в силикатной, они престают находится во взвешенном состояние и начинают за счет плотности, поверхностного натяжения и вязкости оседать на дне печи.

Пятая стадия. Металлическая фаза полностью покидает силикатную и формирует отдельный слой внизу плавильного пространства. Концентрация кремния в силикатной фазе повышается, начинается разложение карбида кремния и появлением летучего монооксида:

$$2SiC+SiO_2 \leftrightarrow 3Si+2CO\uparrow \quad (19)$$

$$2SiC+CaSiO_3 \leftrightarrow 3Si+CaO+2CO\uparrow \quad (20)$$

$$Si+SiO_2 \leftrightarrow 2SiO\uparrow \quad (21)$$

$$3Si+2CO \leftrightarrow 2SiC+SiO\uparrow \quad (22)$$

Характерная особенность реакций заключается в том, что выделение монооксида проявляется как выделение беловатого дыма. Этот дым в процессе плавления свидетельствует о полном разделение расплава на металлическую и силикатную фазу. Металлическая фаза содержит ферросилиций, а силикатная кроме минеральных соединений содержит некоторое количество карбида, входящего в состав минеральных агрегаций как модификатор кристаллизации.

В результате практического эксперимента установлено, что расплав разделился на две составляющие, как и предполагалось силикатную и металлическую. Причем в силикатной

фазе так же можно выделить две зоны, верхний вспененный слой и нижний плотный слой. В результате анализа минералогического и химического состава, разделенных фаз и отдельных зон силикатной фазы (табл. 2) установлено, что в силикатной фазе отсутствует металлическое железо, имеющееся железо входит в состав сложных минеральных образований в окисленном виде. В металлической же части присутствует высокое содержание кремния.

Таблица 2

Соотношение минеральных компонентов в различных частях расплава после затвердевания

Фаза в арсплаве	Состав
«Вспененный» верхний слой силикатной фазы	Кварц (SiO_2) - 98 % , соединения углерода и примеси
Средний слой силикатной фазы	Пироксен $(Ca,Fe,Mg)_2Si_2O_6$ - 80% Анортит ($CaAl_2Si_2O_8$) - 9 %, Кварц (SiO_2) - 8 %, Хромшпинелид $(Fe,Mg)(Cr,Al,Fe)_2O_4$)-3%
Металлическая фаза	Fe – 5,5%; Si -92%; Al-1,5%; Mn - 1%

Таким образом, установлено, что с точки зрения свойств и строения для петрургических расплавов закономерно разделение на металлическую и силикатные фазы. Возможно как полное разделение, так и условно равновесное, когда капли металлической фазы распределены в силикатной.

Расслоение можно условно разделит на пять стадий:

1. твердофазное восстановление железа и разложение минеральных соединений, сопровождающееся выделением воды и газообразных соединений;
2. окислительно-восстановительные процессы в расплаве;
3. выделение металлического железа
4. выделение карбида кремния
5. конвективное движение в расплаве завершение процесса и формирование металлического железа и элементарного кремния.

Установлены следующие закономерности разделения петрургического расплава на металлическую и силикатную фазы в условиях восстановительной плавки в электродуговом плавильном агрегате с графитовыми электродами:

- в расплаве наблюдаются окислительно-восстановительные и транспортные реакции, характер которых изменяется по мере выделения металлического железа;
- образование карбида кремния происходит только после выделения металлического железа
- начало образования карбидов инициирует конвективное перемещение масс расплава;
- в процессе плавления в петрургическом расплаве происходит изменение его щелочности, а следовательно и характера окислительно-восстановительных реакций, это значит что закономерны изменения характеристик расплава в течение плавки от времени и количества основных, влияющих на структур, соединений в нем. Так в силикатной фазе может резвится или тенденция к изоморфному замещению или ослабнуть, в первом случае восстановление железа будет ингибировано, а во втором наоборот инициировано;
- оксиды щелочных металлов, как правило, разрушают силикатные каркасы и освобождают ионы алюминия, а ряд оксидов щелочных металлов напротив стимулирует изоморфное замещение в силикатных структурных мотивах;
- металлическая фаза всегда содержит кремний;
- силикатная фаза условно делится на две зоны, реакционную и основную, в реакционной сконцентрировано содержание соединений с углеродом, в том числе карбидов, а так же пористости;

- при плавление петрургических материалов разделение расплава на металлическую и силикатную фазы сопровождается выделением газообразного монооксида кремния, который служит индикатором о полном протекание разделения фаз.

Список литературы

1. *Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И.* // Физические свойства магматических расплавов. - 1979 М., «Наука», 200 стр.
2. *Бражкин В.В., Ляпин А.Г.* Универсальный рост вязкости металлических расплавов в мегабарном диапазоне давлений: стеклообразное состояние внутреннего ядра Земли. // Успехи физических наук. -2000. т.-170. №5. С. -536-551.
3. *Арсентьев П.П., Коледов Л.А.* Металлические расплавы и их свойства.// М:. «Металлургиздат». -1976.
4. *Игнатова А.М., Чернов В.П., Ханов А.М.* Определении кристаллитности и аморфности в структуре горнблендитового каменного литья. – Тр. VI международной научной школы-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение». – Барнаул, 2009. – с. 175.
5. *Bowen, N.L.*, Crystallization Differentiation in Silicate Liquids, Am. J. Sci., 1915,4th. Sen, vol. 39, pp. 175-191.

05.12.14

И.Я. Имморeев д.т.н., И.В. Нелин, Д.А. Охотников к.т.н.

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
Научно-исследовательский центр сверхширокополосных технологий
Москва, immoreev@aha.ru, ignel2003@mail.ru, oda@mai.ru

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЖИВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФОНЕ ОТРАЖЕНИЙ ОТ МЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ

Рассмотрены особенности создания СШП радиолокаторов, предназначенных для обнаружения живых объектов на фоне местных предметов и сквозь них. Основными сложностями построения таких систем являются проблемы энергетики передатчика, большого динамического диапазона приемника, а также появление ложных целей за счет модуляции подвижным объектом сигналов, отраженных от местных предметов.

Предложен новый метод обнаружения подвижного объекта, основанный на корреляции сигналов, отраженных от цели и модулированных целью сигналов, переотраженных от местных предметов. Приведены результаты экспериментов, полученные с помощью радиолокатора для обнаружения людей за непрозрачными препятствиями.

Ключевые слова: *СШП, биорадиолокация, цифровая обработка сигналов.*

Наиболее реальным применением короткоимпульсных СШП радиолокаторов является наблюдение относительно малоподвижных целей на расстояниях в единицы и десятки метров [1]. Подобные приборы представляют собой относительно маломощные доплеровские РЛС, способные наблюдать за движущимися объектами с высокой точностью. Широкое развитие системы СШП радиолокации получили в области наблюдения за живыми объектами, так называемая биорадиолокация.

Возможность обнаружения людей на расстояниях в десятки метров способствовала появлению систем охраны территории и портативных приборов для обнаружения людей за оптически непрозрачными препятствиями [2,3]. Способность радиолокационных систем наблюдать за целью через непрозрачные объекты делает их незаметными для человеческого глаза, а широкая полоса зондирующего сигнала позволяет скрыть их от других систем обнаружения. Высокая чувствительность таких систем позволяет обнаруживать не только идущего человека, но и неподвижного, детектируя движение его грудной клетки, вызванное дыханием.

В статье рассмотрены особенности построения СШП РЛС, предназначенных для наблюдения за живыми объектами, а также предложен новый метод обнаружения подвижного объекта на фоне больших отражений от местных предметов (МП). Приведены результаты апробирования предложенного метода обнаружения живых объектов на экспериментальных данных, полученных с помощью радиолокатора, для обнаружения людей за непрозрачными препятствиями.

Особенности построение СШП РЛС для обнаружения людей

Человек всегда находится в окружении МП, вследствие этого устройства для его обнаружения работают в условиях больших отражений от предметов, находящихся в обозреваемом пространстве. При проектировании таких устройств необходимо принимать меры по уменьшению влияния на радиолокатор мощных отражений от неподвижных пассивных помех. Наиболее очевидным способом минимизации влияния пассивных помех является стробирование работы приемного тракта радиолокатора во времени.

Обзор всей зоны, при применении пространственной селекции, необходимо производить последовательно. При этом нужно учитывать, что изменение положения человека

относительно СШП РЛС незначительно за время обзора одного строба и на обнаружение этого движения в каждом элементе дальности потребуется время. В связи с этим целесообразно не задерживать пространственный строб радиолокатора длительное время в каждом элементе, а осуществлять быстрый последовательный обзор всех элементов разрешения. В результате чего происходит дискретизация по времени сигнала в каждом элементе дальности. После проведения циклического обзора по всем стробам в течение некоторого интервала времени, в приемнике радиолокатора для каждого элемента дальности формируется информационный пакет в цифровом виде. Его обработка позволяет вынести решение о наличии цели для каждого строба.

При проектировании СШП радиолокатора для обнаружения живых объектов следует учитывать частотный диапазон, в котором устройство должно работать. Необходимо принимать во внимание большое ослабление радиолокационных сигналов, проходящих через непрозрачные препятствия. Это ослабление зависит от типа материала строительных конструкций и существенно возрастает как при увеличении толщины материала, так и при увеличении частоты сигналов [4].

Выделение доплеровских частот сигналов, принятых от движущихся целей, производится в схеме обнаружителя, пример которой приведен на рисунке 1 [5]. Так как начальная фаза эхосигнала случайна, возможно отсутствие сигнала на выходе коррелятора при наличии его на входе, поэтому в приемнике используются два квадратурных канала. Опорные сигналы квадратурных каналов сдвинуты друг относительно друга на $\pi/2$. На выходе корреляторов фильтры высоких частот выделяют сигнал доплеровской частоты. Далее происходит объединение квадратурных компонент.

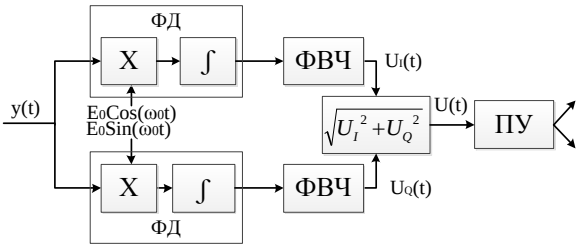


Рис. 1- Структура обнаружителя с квадратурными каналами

Подвижный объект модулирует сигнал, отраженный от МП, что приводит к появлению ложных целей. Напряжение на входе порогового устройства при наблюдении подвижного объекта на фоне большого МП для различных расстояний иллюстрирует рисунок 2.

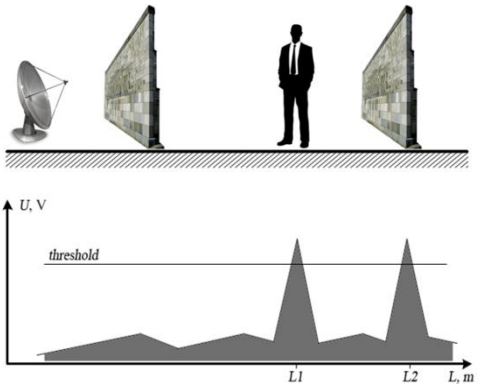


Рис. 2- Появление ложной цели в результате модуляции сигнала, отраженного от МП

Сигнал, отраженный от находящегося на расстоянии *L2* МП, имеет переменную составляющую, которая появляется в результате модуляции подвижным объектом, находящимся на пути распространения сигнала (расстояние *L1*). Эта переменная составляющая проходит через фильтры высоких частот и попадает на пороговое устройство, что идентифицируется системой как еще одна цель.

Метод обнаружения подвижной цели на фоне помеховых переотражений от МП

Так как критерием обнаружения подвижной цели является наличие модуляции доплеровского сигнала, то для борьбы с ложной целью (модулированный сигнал от МП) необходимо выработать критерий ее отличия от действительной цели.

Так как присутствие ложной цели возможно при наличии хотя бы одной действительной, то критерием ее отличия от действительной цели может быть высокая корреляция сигнала с сигналом от одной из действительных целей. Коррелировать можно как комплексные сигналы, так и результат объединения сигналов в квадратурных каналах [6,7].

Результаты экспериментов

Для подтверждения предложенной гипотезы был проведен ряд экспериментов с использованием СШП РЛС для обнаружения людей за оптически непрозрачными препятствиями.

СШП РЛС располагалась вплотную к кирпичной стене толщиной 0.2 м, за которой на расстоянии 2.5 метра находился человек, совершавший произвольные движения руками. Непосредственно за человеком на расстоянии 3 м от него также находилась кирпичная стена. При проведении эксперимента производилась запись доплеровских сигналов в квадратурных каналах приемника СШП РЛС с последующим восстановлением траектории движении цели [6] для стробов дальности с целью и со стеной. Далее проводился корреляционный анализ траекторий движения из стробов с человеком и стеной с целью идентификации переотражения от стены по формуле (1).

$$K_{xy} = \frac{\sum\left(x-\bar{x}\right)\left(y-\bar{y}\right)}{\sqrt{\sum\left(x-\bar{x}\right)^2\left(y-\bar{y}\right)^2}} \qquad (1)$$

На рисунке 3 изображены напряжение из стробов с человеком (пунктирная линия) и с МП (сплошная линия) в первом квадратурном канале приемника СШП РЛС (а) и втором квадратурном канале (б); восстановленная траектория движения для строба с человеком (в); восстановленная траектория движения для строба с МП (г).

Критерием наличия переотражения от МП примем значение коэффициента корреляции по модулю больше 0.5. Для примера на рисунке 3 коэффициент корреляции K составил -0.83, что позволяет сделать вывод об отсутствии второй цели в обозреваемом пространстве.

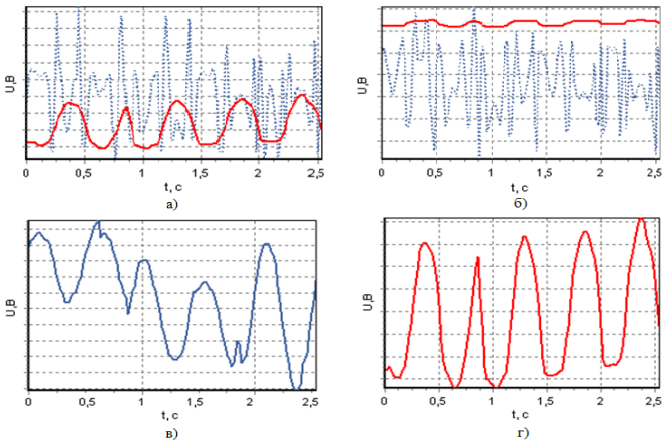


Рис. 3- Напряжение в 1-ом (а) и 2-ом (б) квадратурных каналах для стробов с человеком и МП; восстановленная траектория движения для строба с человеком (в) и МП (г)

Во втором эксперименте в осматриваемой области присутствовало два человека на расстоянии 2 м друг от друга. Результаты эксперимента приведены на рисунке 4, на котором указаны: напряжение из стробов с первым человеком (пунктирная линия) и с вторым человеком (сплошная линия) в первом квадратурном канале приемника СШП РЛС (а) и втором квадратурном канале (б); восстановленная траектория движения для строба с первым человеком (в); восстановленная траектория движения для строба со вторым человеком (г).

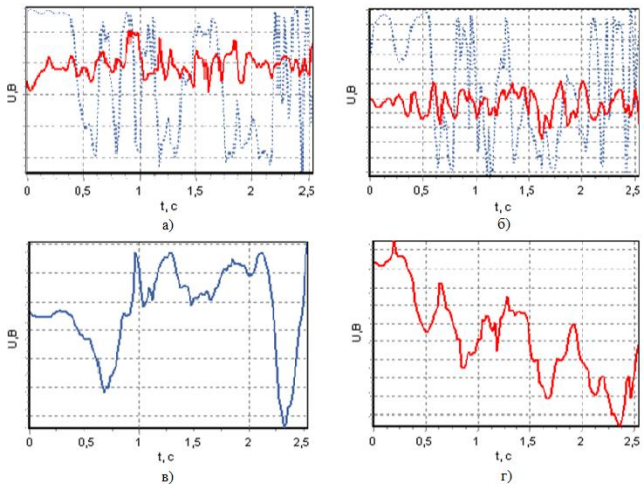


Рис. 4- Напряжение в 1-ом (а) и 2-ом (б) квадратурных каналах приемника; восстановленная траектория движения для строба с первым человеком (в) и вторым человеком (г)

Для примера на рисунке 4 коэффициент корреляции K составил 0.09. Это значительно ниже, чем в эксперименте с МП, что подтверждает гипотезу об идентификации МП по степени корреляции с реальной целью.

В результате экспериментов по обнаружению подвижного человека отмечено, что модуль коэффициента корреляции восстановленной траектории движения объекта и переотражения от МП превышает значение 0.5, а в случае обнаружения двух подвижных людей модуль коэффициента корреляции траекторий движения ниже значения 0.5, что позволяет производить идентификацию ложных целей и распознавать, когда в поле наблюдения присутствуют два различных объекта.

Работа, в результате которой были получены представленные результаты, проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта №07.524.11.4011.

Список литературы

1. *Бугаев А.С., Ивашов С.И., Имморeев И.Я.* «Биорадиолокация» - М.: Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2010 г. С.170-173, 337-341.
2. *Бугаёв А.С., Васильев И.А., Ивашов С.И. и др.* Обнаружение и дистанционная диагностика людей за препятствиями с помощью РЛС. М: Радиотехника. – 2003. - №7. - С. 42-47.
3. *I. Immoreev.* «Radar Observation of Objects, which Fulfill Back-and-Forth Motion». В книге «Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics 9». Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London, 2010. С. 395-404.
4. *James D. Taylor.* Ultrawideband radar application and design. С. 448.
5. *Финкельштейн М. И.* Основы радиолокации: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 536 с. Ил. С. 262-263.
6. *Охотников Д.А.* «Селекция движущихся целей, совершающих возвратно-поступательное движение». Успехи современной радиоэлектроники, №10, 2011. С. 52-64.
7. *Охотников Д.А.* Особенности радиолокационного обнаружения целей, совершающих возвратно-поступательное движение // Сборник докладов 5й Международной конференции «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals». Ukraine, Sevastopol, 6-10 September, 2010. Материалы конференции. – Москва: С. 154 – 157.

05.23.05

А.И. Иноземцев, Е.В. Королев д.т.н.

Научно-образовательный центр по направлению «Нанотехнологии»
ФГБОУ ВПО «Московский Государственный строительный университет»,
Москва, InozemcevAS@mgsu.ru

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ[1]

В работе представлено экономическое обоснование внедрения разработанных высокопрочных легких бетонов для производства несущих изделий и конструкций для промышленного и гражданского строительства. Приведен краткий обзор мировой практики по разработке и применению составов прочных легких бетонов. Отражены основные свойства и преимущества предлагаемых энергоэффективных высокопрочных легких бетонов по отношению к тяжелым и легким бетонам. Предложена методика расчета экономической эффективности бетона исходя из возможности снижения общего веса конструкции и увеличения этажности на примере многоэтажного жилого здания. Представлены зависимости изменения экономической эффективности от площади основания здания и его этажности по предложенной методике. Показана возможность оптимизации расхода арматурной стали и бетона при использовании высокопрочного легкого бетона. Дополнительный экономический эффект достигается благодаря меньшим показателям коэффициента теплопроводности, а также уменьшением затрат при эксплуатации здания. Описанные методики расчета экономической эффективности, основанные на учете основных показателей качества научных разработок, позволяет проводить обоснования для внедрения новых строительных материалов, сырьевые компоненты которых имеют узкую специфику использования. Обозначенный подход позволяет сделать вывод о том, что прямой расчет стоимости разработанного материала по себестоимости не обеспечивает объективными данными о перспективности разработки и ее производственной конкурентоспособности.

Ключевые слова: *высокопрочный легкий бетон, экономическая эффективность, энергоэффективный бетон.*

Развитие строительных технологий и научные достижения в области строительного материаловедения, направленные на совершенствование и ускорение процессов строительства, невозможно без экономического обоснования [1…3]. Экономические критерии эффективности часто являются основными показателями для новых технологий, при этом показатели качества могут изменяться незначительно. Так, строительные материалы, обладающие универсальными свойствами, но по экономическим показателям нереализуемые в практике, не имеют развития вне лаборатории.

Однако, расчеты экономической эффективности технологии строительных материалов, основанные на стоимости ресурсов и производительности оборудования, не позволяют объективно оценить перспективность практического внедрения научных разработок. Очевидно, что экономическое обоснование необходимо осуществлять для каждого конкретно случая индивидуально, исходя из области применения и функциональных особенностей и применительно к строительному объекту.

Рассмотрим экономическое обоснование применения бетона, обладающего низкой средней плотностью и высоким показателем предела прочности при сжатии –

[1] Печатается при поддержке гранта Президента МД-6090.2012.8

энергоэффективного наномодифицрованного высокопрочного легкого бетона (ВПЛБ) конструкционного назначения [4].

Многокомпонентный состав такого бетона включает цементное вяжущее, минеральную часть, легкий наполнителя, наноразмерный модификатор и добавки [5]. Наполнителем, обеспечивающим низкую плотность бетона, является полые стеклянные или керамические микросферы, получаемые методом плазменного распыления [6] или высокотемпературным факельным сжиганием угля.

В мировой практике [7…13] имеется опыт создания прочных легких бетонов (табл. 1). Однако для таких бетонов характерны низкие показатели удельной прочности при пониженных значения средней плотности.

Таблица 1 – Мировой опыт создания прочных легких бетонов

Год	Страна	Средняя плотность, кг/м^3	Предел прочности при сжатии, МПа	Удельная прочность, МПа	Литература
1999	Кувейт	1520	22	14,4	[7]
2002	Германия	1800	14…25	7,5…15	[8]
2003	Бразилия	1450…1600	40…50	24,5…30,5	[9]
2003	Турция	1800…1860	30…40	16,1…22,2	[10]
2004	Япония	1800…1850	47…54	27,5…30,0	[11]
2007	Россия	1800	46…61	25,5…33,8	[12]
2007	Россия	1600…1650	42…48	25,4…28,7	[13]

Разработанные составы ВПЛБ обладают универсальным сочетанием свойств (высокая прочность и низкая средняя плотность), которое позволяет применять их для изготовления элементов конструкции при строительстве жилых и общественных зданий. При этом изделия из такого бетона обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими тяжелыми и легкими бетонами (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Преимущества высокопрочных легких бетонов

Показатель	Высокопрочный тяжелый бетон	Легкий бетон	Высокопрочный легкий бетон
Высокая прочность	+	–	+
Низкая средняя плотность	–	+	+
Высокая удельная прочность	+	–	+
Закрытая пористость	+	–	+
Низкое водопоглощение	+	–	+
Низкая теплопроводность	–	+	+
Высокая звукоизоляция	–	+	+

Таблица 3 – Некоторые сравнительные свойства бетонов

Наименование показатель	Значение		
	Тяжелый бетон	Легкий бетон*	ВПЛБ
Средняя плотность, кг/м^3	2300…2500	1100…2000	1300…1500
Предел прочности при сжатии, МПа	30,0…40,0	12,5…30,0	40,0…65,0
Удельная прочность, МПа	13,0…18,0	11,0…15,0	30,0…55,0
Водопоглощение, %	5…10	15…40	менее 2,5
Морозостойкость, цикл	не менее 100	не менее 100	–
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	1,45…1,55	0,30…1,20	менее 0,60
Коэффициент температуропроводности, $\cdot 10^{-7}$ м^2/с	–	–	менее 5,00
Удельная теплоемкость (при T=25°С), кДж/кг·К	–	–	0,80…1,15

Примечание: * – легкий бетон конструкционного назначения.

Как видно из табл. 2 и 3 высокопрочный легкий бетон имеет более низкую среднюю плотность, по сравнению с тяжелым бетоном, что позволяет облегчить конструкции на 40%, сохранив конструкционные качества изделия. Кроме того, разработанный бетон обладает меньшей теплопроводностью, обеспечивая дополнительные теплоизоляционные качества. За счет применения полых микросфер в качестве наполнителя создается плотная структура бетона с низкой пористостью и достигается высокий показатель по морозостойкости, определяющий долговечность материала. Легкие бетоны на пористых заполнителях требуют дополнительной отделки для защиты от эксплуатационных воздействий. В отличие от легких бетонов, которые не обладают высокой удельной прочностью, ВПЛБ могут быть использованы в конструкциях для изготовления несущих элементов здания. Такое повышение показателей качества высокопрочного легкого бетона достигается вследствие модифицирования границы раздела фаз «цементный камень – микросфера» наноразмерным модификатором, который обеспечивает повышение смачиваемости микросфер и повышение прочности контакта.

Исходя из вышесказанного основными показателями качества, обеспечивающие экономическую эффективность внедрения разработанных бетонов, являются:

- низкая средняя плотность, позволяющая уменьшить вес изделий (конструкции, сооружения);
- высокая прочность, обеспечивающая конструкционные качества;
- низкая теплопроводность.

Определение экономической эффективности масштабно можно алгоритмизировать относительно конструкции или сооружения (здания). Расчет, основанный на снижении общей массы изделий из тяжелого бетона, базируется на предположении о снижение нагрузки на основания и фундаменты, что позволяет увеличить этажности строения, а следовательно, дополнительную полезную площадь и как следствие сокращение удельных затрат на строительство единицы площади.

Предположим, что на участке площадью S планируется возвести здание $N_б$ этажей из тяжелого бетона средней плотностью $\rho_{ср}^{б}$. Масса всего здания составит

$$M_{зд}^{б} = m_{эт}^{б} N_{б},$$

где $m_{эт}^{б}$ – базовая масса одного этажа в здании при плотности бетона $\rho_{ср}^{б}$; индекс «б» означает базовый бетон – тяжелый бетон.

При этом масса этажа $m_{эт}^{б}$ при известной плотности будет зависеть от геометрических характеристик

$$m_{эт}^{б} = S\bar{\delta}\rho_{ср}^{б},$$

где S – площадь этажа, выполненная из бетона, рассчитанная как

$$S = 2ah + 2bh + ab,$$

где a, b, h – соответственно длинна, ширина и высота этажа.

$$\bar{\delta} = \sum_{i=1}^{z} \alpha_i \delta_i ,$$

где $\bar{\delta}$ – приведенная толщина каркаса, δ_i – толщина i-го изделия из бетона, используемого при строительстве здания, α_i – коэффициента значимости для i-й толщины.

Масса одного этажа из бетона новой плотности равна

$$m_{эт}^{н} = S\bar{\delta}\rho_{ср}^{н},$$

где индекс «н» означает новый бетон – высокопрочный наномодифицированный легкий бетон.

Кроме того, меньшая средняя плотность бетона по теплофизическим показателям позволяет дополнительно сократить толщину ограждающих конструкций (трехслойная панель) для обеспечения требуемого значения по сопротивлению теплопередаче (для Москвы R_T=4,5 м^{20}С/Вт). В этом случае уменьшенная толщина δ_i стеновой панели, за счет снижения толщины бетона, позволяет сократить общую массу этажа:

$$\delta_{сп} = \delta_{сп_0} \frac{\lambda_б}{\lambda_н},$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности.

Однако строительные нормы и правила, ограничивающие минимальную толщину слоя бетона, позволяют сократить толщину бетона в конструкции на величину k:

$$\delta'_{сп} = k\delta_{сп_0}.$$

При этом должно выполняться условие:

$$\delta_{сп} \geq \delta'_{сп}.$$

Таким образом, при проектировании здания из высокопрочного легкого бетона плотностью 1400 кг/м^3 достигается увеличение площади этажей здания на 44%, то есть из тяжелого бетона ($\rho_{ср}^{б}$=2400 кг/м^3) при прочих равных условиях возможно построить объект в 1,71 раза меньше по суммарной площади этажей.

Увеличение суммарной площади этажей здания приводит к сокращению себестоимости квадратного метра, а, следовательно, при равной цене за единицу площади достигается большая рентабельность строительства.

Кроме того, лучшие теплофизические свойства ВПЛБ, позволяют экономить на теплоизоляционных работах. Высокопрочный легкий бетон, имея коэффициент теплопроводности почти в 2 раза меньше чем у тяжелого бетона, обеспечивает сокращение затрат на утеплитель на 94%. Наибольший экономический эффект при этом достигается при использовании ВПЛБ при устройстве как перекрытий, так и ограждающих панелей.

Пример расчета экономической эффективности применения высокопрочных легких бетонов представлен в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты расчета экономической эффективности при использовании ВПЛБ в качестве конструкционного и ограждающего материала

№ п/п	Показатель	Значение	
		Тяжелый бетон	ВПЛБ
Начальные условия			
1	Тип здания	Каркасно-панельный	
2	Площадь основания, кв.м.	1000	
3	Базовая этажность здания	16	–
4	Класс прочности бетона	В40	
5	Средняя плотность бетона, кг/м^3	2400	1400
6	Стоимость 1 м^3 бетона, руб.	4500	8500*
7	Стоимость 1 м^2 возведенного объекта, руб.	50 000	
Расчетные данные			
7	Масса конструкций из бетона, Мт	13,2	
8	Коэффициент изменения плотности	1,714	
9	Объем бетона, ·10^3 м^3	5,53	9,48
10	Общая площадь этажей, ·10^3 м^2	16	28
11	Затраты на материалы, млн. руб.	18,21	80,58
12	Затраты на возведение 1 м^2 здания**, тыс. руб.	1,14	2,94
13	Затраты на теплоизоляционные работы, млн. руб.	4,02	3,61
14	Экономия на теплоизоляционных работах, %	13,45	
15	Совокупный доход от продажи здания, млн.руб.	610	1100
16	Экономический эффект, %	44,50	

Примечание: * – стоимость 1 м^3 высокопрочного легкого бетона при стоимости алюмосиликатных микросфер 11,75 руб./кг; ** – стоимость общестроительных работ принята за 200% от стоимости материалов, стоимость 1 м^2 земли – 90 тыс. руб.

Как видно из табл. 4, описанный подход к расчету экономической целесообразности внедрения высокопрочных легких бетонов при строительстве многоэтажных зданий, свидетельствует, что разработанные бетоны при заданных условиях обеспечивают экономический эффект более 55%.

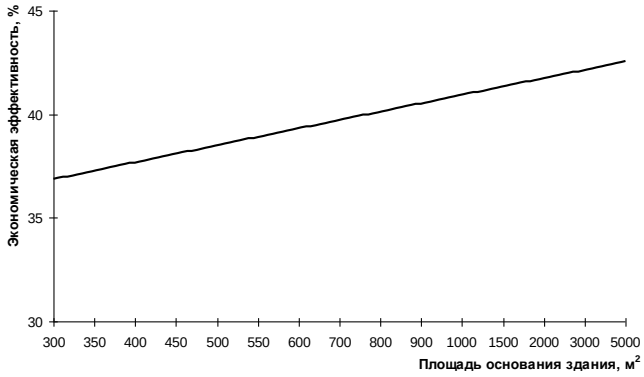


Рис.1 – Влияния площади основания здания на экономическую эффективность применения ВПЛБ

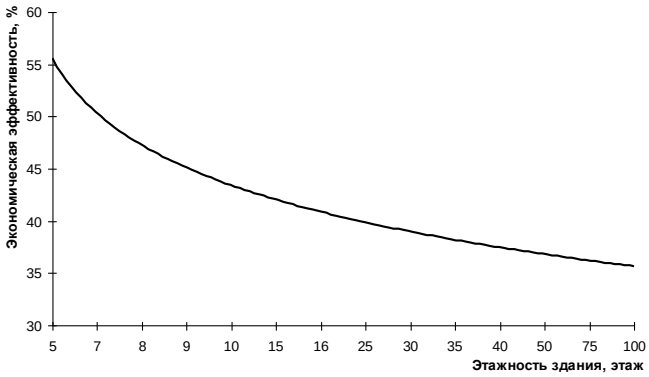


Рис. 2 – Влияние этажности здания на экономическую эффективность применения ВПЛБ

На рис. 1 и 2 представлены зависимости изменения экономического эффекта от площади основания здания и его этажности по предложенной методике. Увеличение площади здания приводит к увеличению рентабельности, что связано с сокращением общестроительных расходов на единицу площади. Увеличение этажности в свою очередь приводит к снижению экономического эффекта, так как увеличиваются расходы на строительно-монтажные работы. При этом на каждом из графиков видно, что экономическая эффективность вне зависимости от этажности и площади здания составляет не менее 35%.

Однако приведенный выше пример расчета экономической эффективности внедрения высокопрочных легких бетонов не учитывает уменьшение накладных расходов, связанных с сокращением удельного веса конструкций. Очевидно, стоимость транспортных и монтажных работ более легких материалов меньше, что обеспечивает дополнительный экономический эффект.

Существует подход [14], учитывающий использование бетонов повышенной прочности при проектировании сборных и монолитных железобетонных конструкций. Авторами указанной работы предлагается оптимизация расходов арматурной стали и бетона с повышенными физико-механическими характеристиками.

Для расчета материалоемкости используются следующие формулы:

$$\eta_b = \sqrt{\frac{\mu_0 k_0 - 1}{\eta_s^2 \mu_0 k_0 - \eta_{s0}}};$$

$$\eta_s = \frac{\eta_b \pm \sqrt{\eta_b^2 - 4\mu_0 k_0 + 4\mu_0^2 k_0^2}}{2\mu_0 k_0 \eta_b},$$

где η_b, η_s – материалоемкость (расход материала) для бетона и арматуры соответственно, μ_0 – коэффициент рабочего армирования для исходного сечения, k_0 – коэффициент, учитывающий начальное сопротивление арматуры R_{s0} и бетона R_{b0}, рассчитанный как

$$k_0 = \frac{R_{s0}}{2R_{b0}}.$$

Очевидно, что применение материалов, характеризующихся более высокими показателями прочности, позволяет сократить их расход для изготовления изделия (конструкции). Так, при использовании высокопрочного легкого бетона с классом по прочности В60 и арматурной стали А400 достигается снижение расхода арматуры на 30% (рис. 3).

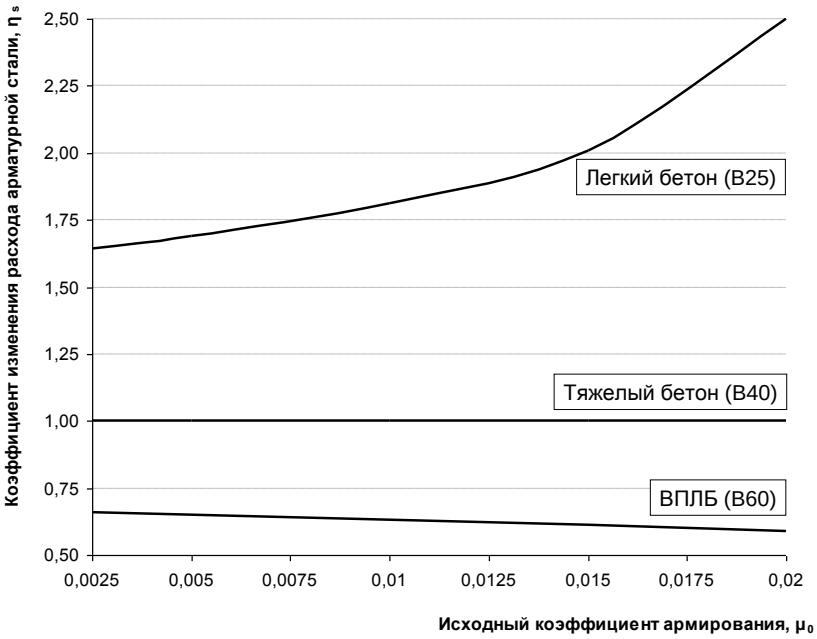


Рис. 3 – Зависимость коэффициента изменения расхода арматурной стали η_s от исходного коэффициента армирования μ_0 при исходном классе бетона В40 для высокопрочного легкого бетона В60 и легкого бетона В25

При этом в изделиях с большим начальным коэффициентом армирования значение коэффициента η_s уменьшается, а значит экономический эффект от снижения стоимость арматуры будет увеличиваться. Сокращение расхода арматуры является дополнительным экономическим фактором, обосновывающим применение разработанных бетонов.

Таким образом, предложенные методики расчета экономической эффективности, основанные на учете основных показателей качества разработки, позволяет проводить обоснования для внедрения новых строительных материалов, сырьевые компоненты которых имеют узкую специфику использования. Обозначенный подход позволяет сделать вывод о том, что прямой расчет стоимости разработанного материала по себестоимости не обеспечивает объективными данными о перспективности разработки и ее производственной конкурентоспособности.

Проведенные расчеты показывают, что разработанные составы наномодифицированных высокопрочных легких бетонов, несмотря на высокую стоимость сырьевых компонентов по сравнению с тяжелыми бетонами, имеют высокую перспективу производственного внедрения и способны обеспечить экономическую выгоду при массовом строительстве.

Список литературы

1. *Баженов Ю.М., Королев Е.В.* Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении // Строительные материалы. 2009. №6. С. 66–67.
2. *Баженов Ю.М., Королев Е.В.* Технико-экономические основы практической нанотехнологии в строительном материаловедении // Региональная архитектура и строительство. 2008. №2(5). С. 3–9.
3. *Королев Е.В.* Основные принципы практической нанотехнологии в строительном материаловедении // Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал. 2009. №1. С. 66–79.
4. *Иноземцев А.С., Королев Е.В.* Основы разработки наномодифицированных высокопрочных легких бетонов // Оценка рисков и безопасность в строительстве. Новое качество и надежность строительных материалов и конструкций на основе высоких технологий: сб. научн. тр., Москва, 2012. С. 34–37.
5. *Альбакасов А.И., Иноземцев А.С., Королев Е.В., Смирнов В.А.* Некоторые аспекты проектирования составов многокомпонентных композиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал. 2011. №6 (16). С.32–43.
6. *Бессмертный В.С., Дюмина П.С., Ляшко А.А.* Энергосберегающая технология получения стеклянных микрошариков методом плазменного распыления // Успехи современного естествознания. 2010. №3. С. 105–107.
7. *Jamal Alduaij, Khalid Alshaleh, M Naseer Haque, Khalid Ellaithy*. Lightweight concrete in hot coastal areas // Cement and Concrete Composites. 1999. Т. 21. №5–6. С. 453–458.
8. *Bose A., McBride S. P., Shukla A.* Processing and characterization of a lightweight concrete using cenospheres // Journal of materials science. 2002. Т. 37. С. 4217–4225.
9. *Rossignolo JA, Agnesini MVC, Morais JA.* Properties of highperformance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates // Cement and Concrete Composites. 2003. Т. 25. С. 77–82.
10. *Ergul Yasar, Cengiz Duran Atis, Alaettin Kilic, Hasan Gulsen*. Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash // Materials Letters. 2003. Т. 57. С. 2267–2270.
11. Technical Report Ishikawajimaharima // Evaluation of fatigue durability precast PC slab lightweight high-strength. 2004. Т.44. №.2. С. 83–90.
12. *Андрианов А.А.* Состав, ползучесть высокопрочного легкого бетона из смесей высокоподвижной и литой консистенции с модификаторами на органоминеральной основе: автореф. дис. … канд. техн. наук. М., 2007, 15 с.
13. Пат. 2355656 С2 РФ, МПК С04В28/02. Бетонная смесь / Пономарев А.Н., Юдович М.И. - Опубл. 20.05.2009. – 3 с.
14. *Бедов А.И., Бабков В.В., Габитов А.И.* Использование бетонов и арматуры повышенной прочности в проектировании сборных и монолитных железобетонных конструкций // Вестник МГСУ. 2012. №8. С. 76–84.

05.13.06

[1]М.Ю. Казаков, [2]М.С. Гринкруг к.т.н., [3]Ю.И. Ткачева к.т.н.

[1]Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
электротехнический факультет,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок и комплексов,
Комсомольск-на-Амуре, kazakovmj@yandex.ru

[2]Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
факультет экологии и химической технологии, кафедра общей физики,
Комсомольск-на-Амуре, grin@knastu.ru

[3]Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
факультет экологии и химической технологии, кафедра общей физики,
Комсомольск-на-Амуре, grin@knastu.ru

ВЫБОР МОЩНОСТЕЙ КОТЛОВ НА КОТЕЛЬНОЙ ИЗ УСЛОВИЯ МИНИМИЗАЦИИ ГОДОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА

В статье описан алгоритм решения задачи выбора котлов на водогрейных котельных при проектировании и определения режимов их работы с целью минимизации годового расхода топлива. Представлены и проанализированы результаты расчетов по описанному алгоритму.

Ключевые слова: *котельная, котел, расход топлива, удельный расход топлива, режимы работы*.

Существующая практика выбора котлов для котельных не регламентирована. Как правило проектировщик ориентируется на уже известные марки и в основе выбора лежат в первую очередь критерии стоимости котла и обеспечения необходимой теплопроизводительности. При этом, как правило, выбираются одинаковые котлы. Выбор котлов осуществляется без учета сезонного и суточного изменения нагрузки котельной. Также не учитывается изменение экономичности котлов при изменении их нагрузки.

В связи с этим в данной работе рассматривается задача выбора котлов на котельной при проектировании и определения режимов их работы с целью минимизации годового расхода топлива котельной.

Исходными данными для задачи являются:

1) набор возможных значений теплопроизводительности котлов
2) дата начала и окончания отопительного периода
3) средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца
4) средняя минимальная температура воздуха наиболее холодного месяца
5) амплитуда суточных колебаний температуры
6) максимальный суточный расход тепла
7) класс используемого топлива
8) вид температурного графика

Для определения нагрузки в каждый час отопительного периода используются значение максимального среднесуточного расхода тепла на отопление, график изменения среднесуточной температуры воздуха в течение года, график колебаний температуры в течение дня, температурный график, в котором указано какие значения температуры воды должны обеспечиваться в прямом и обратном трубопроводах при каждом значении температуры наружного воздуха.

В [4] приведены средние месячные температуры различных населенных пунктов Российской Федерации. По этим значениям с помощью аппроксимации была получена универсальная зависимость изменения среднесуточной температуры в течение года:

$$f_i = \frac{\sin\left(\frac{(i-17)\cdot 2\cdot\pi}{365} - \frac{\pi}{2}\right)+1}{2}\cdot\left(t_{тепл} - t_{хол}\right) + t_{хол},$$

где $t_{тепл}$ - средняя максимальная температура в самый теплый месяц, °С; $t_{хол}$ - средняя минимальная температура в самый холодный месяц, °С; i - номер дня в году.

Колебания температуры в течение суток, также могут быть описаны частями синусоид. Максимальная температура при этом бывает в среднем в 15 часов, а минимальная температура – в 7 часов.

В соответствие с этим была выведена универсальная зависимость изменения среднечасовой температуры в течение суток:

$$d_i = \begin{cases} \sin\left(\frac{i-7}{16}\cdot\pi + \frac{3\pi}{2}\right)\cdot dt, \; при \; i < 7 \\ \sin\left(\frac{i-15}{8}\cdot\pi + \frac{3\pi}{2}\right)\cdot dt, \; при \; 7 \le i < 15 \\ \sin\left(\frac{i-15}{8}\cdot\pi + \frac{3\pi}{2}\right)\cdot dt, \; при \; i \ge 15 \end{cases},$$

где dt - амплитуда колебаний температуры в сутки, °С; i – номер часа дня.

По этим двум зависимостям определяется температура наружного воздуха в каждый час отопительного периода:

$$t_i = f_{i/24} + d_{i \bmod 24}$$

Далее, по температурному графику определяются требуемые значения температуры воды в прямом и в обратном трубопроводах за каждый час отопительного периода.

Значения расхода тепла за каждый час отопительного периода пропорционально разности температур в прямом и обратном трубопроводах и определяется по формуле:

$$Q_{отопл\ i} = \left(t_{pr\ i} - t_{ob\ i}\right)\cdot\frac{Q_{\max}}{\sum_j\left(t_{pr\ j} - t_{ob\ j}\right)}$$

где $Q_{\max}$ - максимальный суточный расход тепла на отопление в течение года, Гкал; $t_{pr\,i}$ - температура в прямом трубопроводе в i-ый час, °С; $t_{ob\,i}$ - температура в обратном трубопроводе в i-ый час, °С; $t_{pr\,j}$ - температура в прямом трубопроводе в j-ый час самых холодных суток, °С; $t_{ob\,j}$ - температура в обратном трубопроводе в j-ый час самых холодных суток, °С.

Для определения состава котлов на котельной необходимо решить оптимизационную задачу. Целевой минимизируемой функцией является годовой расход топлива котельной:

$$G = \sum_k G_k,$$

где $G_k = \sum_i g_{ik}\cdot Q_{ik}\cdot 1ч + n_{k\,хол}\cdot g_{k\,ном}\cdot Q_{k\,ном}\cdot 0{,}65ч + n_{k\,гор}\cdot g_{k\,ном}\cdot Q_{k\,ном}\cdot 0{,}3ч$ – годовой расход топлива каждого котла, кг, причем некоторые $Q_{ik} = g_{ik} = 0$, если k-ый котел в i-ый час отключен; Q_{ik} – теплопроизводительность k-ого котла на i-ом режиме, Гкал/ч; g_{ik} – удельный расход условного топлива при данной теплопроизводительности k-ого котла на i-ом режиме, кг у.т./Гкал, $n_{k\,хол}$ - количество запусков k-ого котла из холодного состояния в течение года, $n_{k\,гор}$ - количество запусков k-ого котла из горячего состояния в течение года,

$g_{k\,ном}$ - номинальный удельный расход условного топлива k-ого котла, кг у.т./Гкал; $Q_{k\,ном}$ - номинальная теплопроизводительность k-ого котла, Гкал/ч.

Значения удельного расхода условного топлива котла на заданной теплопроизводительности определяется по формуле:

$$g(Q) = \frac{1}{q \cdot \eta(Q)},$$

где q = 7000 ккал/кг – теплота сгорания условного топлива, $\eta(Q)$ - коэффициент полезного действия котла при теплопроизводительности, равной Q.

$\eta(Q)$ определяется по формуле:

$$\eta(Q) = \bar{\eta}\left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right) \cdot \eta_{ном},$$

где $\eta_{ном}$ - значение коэффициента полезного действия при номинальной теплопроизводительности для данного котла, $\bar{\eta}\left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right)$ - относительное значение кпд при данном уровне нагрузки.

Значение $\eta_{ном}$ принималось равным минимальному допустимому значению к.п.д. при номинальной теплопроизводительности, которое определялось по зависимостям, приведенным в [2], по номинальной теплопроизводительности и используемому виду топлива.

Зависимость $\bar{\eta}\left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right)$ аппроксимирована по значениям коэффициентов снижения к.п.д. для водогрейных котлов на твердом топливе, приведенным в [3], и имеет вид:

$$\bar{\eta}\left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right) = a_4 \cdot \left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right)^4 + a_3 \cdot \left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right)^3 + a_2 \cdot \left(\frac{Q}{Q_{ном}}\right)^2 + a_1 \cdot \frac{Q}{Q_{ном}},$$

где a_4 = -2,38823, a_3 = 7,488384, a_2 = -8,89123, a_1 = 4,788402

Значение G находится для каждого набора, состоящего из одного, двух, трех или четырех котлов, выбираемых из исходного списка. Набор, обеспечивающий минимальное значение G, и является искомым.

Для определения значения G из имеющегося набора котлов генерируются всевозможные комбинации рабочих котлов. Для каждой комбинации рассчитывается минимальный расход топлива на нагрузке $Q_н$, требуемой в каждый час отопительного периода, если данная комбинация может обеспечить такую нагрузку. При этом при одновременной работе нескольких колов требуется определить оптимальное распределение нагрузки между котлами.

Для этого необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \mathbf{B}_1 = g_1(Q_1) \cdot Q_1 \\ \mathbf{B}_2 = g_2(Q_2) \cdot Q_2 \\ \ldots \\ \mathbf{B}_n = g_n(Q_n) \cdot Q_n \\ Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = Q_н \end{cases}$$

где B_i - расход топлива i-ым котлом за рассчитываемый час, кг; Q_i – теплопроизводительность i-ого котла за рассчитываемый час, Гкал/ч; g_i – удельный расход условного топлива i-ого котла за рассчитываемый час, кг у.т./Гкал.

При этом, $B_1 + B_2 + \ldots + B_n \to min$.

Задача сводится к нахождению минимума функции многих переменных:

$$f(Q_1,Q_2,...,Q_n) = B_1(Q_1) + B_2(Q_2) + ... + B_n(Q_n)$$

при условии $\varphi(Q_1,Q_2,...,Q_n) = Q_1 + Q_2 + ... + Q_n - Q_{\text{н}} = 0$.

Функция Лагранжа:

$$L = f(Q_1,Q_2,...,Q_n) + \lambda\varphi(Q_1,Q_2,...,Q_n)$$

В точке экстремума справедливы соотношения [1]

$$\begin{cases} L'_{Q_1} = f'_{Q_1} + \lambda\varphi'_{Q_1} \\ L'_{Q_2} = f'_{Q_2} + \lambda\varphi'_{Q_2} \\ ... \\ L'_{Q_n} = f'_{Q_n} + \lambda\varphi'_{Q_n} \\ L'_{\lambda} = \varphi = 0 \end{cases}$$

Так как $\varphi'_{Q_1} = \varphi'_{Q_2} = ... = \varphi'_{Q_n} = 1$, а $f'_{Q_1} = B_1'_{Q_1}$, $f'_{Q_2} = B_2'_{Q_2}$, …, $f'_{Q_n} = B_n'_{Q_n}$, то получим систему уравнений:

$$\begin{cases} B_1'_{Q_1} + \lambda = 0 \\ B_2'_{Q_2} + \lambda = 0 \\ ... \\ B_n'_{Q_n} + \lambda = 0 \\ Q_1 + Q_2 + ... + Q_n - Q_{\text{н}} = 0 \end{cases}$$

Таким образом, оптимальное распределение нагрузки между несколькими одновременно работающими котлами находится из условия равенства всех производных расходов топлива по теплопроизводительности:

$$B_1'_{Q_1} = B_2'_{Q_2} = ... = B_n'_{Q_n}.$$

При этом должно быть выполнено соотношение равенства суммы теплопроизодительностей всех котлов требуемой нагрузке:

$$Q_1 + Q_2 + ... + Q_n = Q_{\text{н}}$$

Решение полученных уравнений найдем численно методом двоичного поиска.

Обозначим искомую величину производной расхода топлива по производительности α. Если в результате решения значение α должно быть меньше, чем минимально возможное значение B'_Q для какого-либо котла, то такая комбинация не рассматривается, так как соответствующий котел должен быть отключен, а для набора оставшихся котлов существует отдельная комбинация.

Если же α должно быть большим, чем максимально возможное значение B'_Q для какого-либо котла, то такой котел работает на своей номинальной производительности, а для остальных котлов расчет происходит заново при оставшейся нагрузке.

В результате выполнения предыдущего шага будет сформирован массив значений потребления топлива каждой комбинацией котлов за каждый час отопительного периода. Обозначим его С.

C_{ij} - потребление топлива i-ой комбинацией котлов за j-ый час отопительного периода.

Для расчета минимального расхода топлива за год используем метод динамического программирования.

Построим дополнительный массив ТС.

TC_{ij} - минимальный расход топлива за время работы с начала отопительного периода до j-ого часа, при условии, что в j-ый час работает i-ая комбинация котлов.

Для начала отопительного периода значения массива ТС равны:

$TC_{i0}=C_{i0}$

Для остальных часов ТС рассчитывается как

$$TC_{i,j} = \min_{k}(TC_{k,j-1} + CC_{i,k}) + C_{i,j}$$

Здесь $CC_{i,k}$ - затраты топлива на растопку котлов, которые не входят в комбинацию i, но входят в комбинацию k.

Затраты на растопку каждого котла принимаются равными 30% от часового расхода топлива при работе на номинальной нагрузке в случае растопки из горячего состояния (котел не был в работе менее 12 часов) и 65% - в случае растопки из холодного состояния (от 12 часов и выше).

После заполнения массива TC, минимальное значение в его последнем столбце равно минимального годовому расходу топлива.

Рассчитав значение G для каждого возможного набора котлов, определяем какой из наборов обеспечивает наименьшее значение G.

Затем определяется, какие комбинации котлов работали в каждом часе для получения минимального годового расхода топлива.

По методике, описанной выше, была разработана программа, с помощью которой были произведены расчеты по определению оптимального состава котлов на котельной при оптимальном распределении нагрузки между несколькими одновременно работающими котлами.

Исходные данные для расчетов были приняты следующими:

1) набор возможных значений номинальной теплопроизводительности котлов: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0 Гкал/ч.

2) топливо: твердое 3-его класса.

3) температурный график котельной: 95/75;

4) средняя максимальная температура теплого месяца: +30°С;

5) средняя минимальная температура холодного месяца: -30°С;

6) амплитуда колебаний температуры в течение суток: 8°С;

7) срок отопительного периода: 15 октября - 1 мая;

8) максимальный суточный расход тепла: 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 Гкал.

9) максимальное количество котлов: 1, 2, 3, 4.

Результаты расчетов при максимальном количестве котлов 1, 2 и 3 представлены ниже. Использование четырех котлов практически не дает уменьшения годового расхода топлива.

На рисунке 1 - представлена зависимость среднегодового удельного расхода условного топлива от величины максимального суточного расхода тепла. Также эта зависимость представлена в таблице 1, в которой, кроме того, представлены значения удельного расхода условного топлива при номинальной теплопроизводительности котла с минимальной достаточной для обеспечения заданной нагрузки теплопроизводительностью.

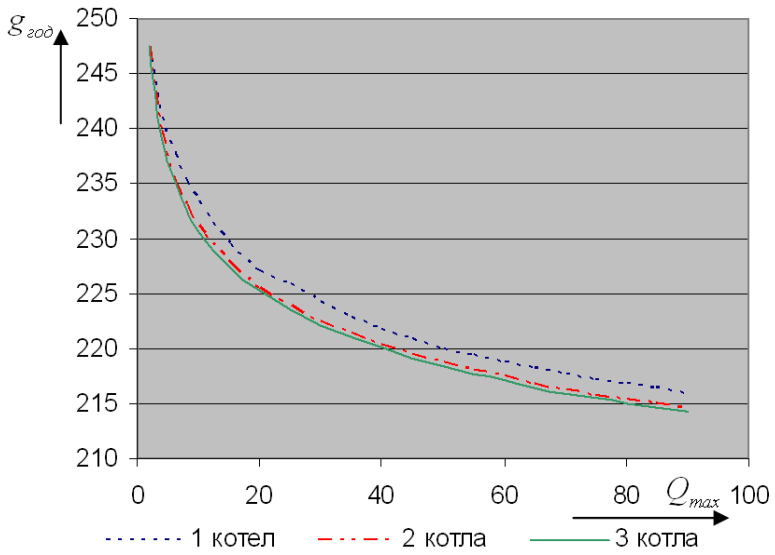


Рис. 1 - Среднегодовой удельный расход условного топлива

Из представленный данных видно, что реальные суточные и сезонные изменения нагрузки котельной увеличивают удельный расход условного топлива на 3,1-6,8 кг/Гкал в случае установки 1 котла, на 2-5 кг/Гкал в случае использования 2 котлов и на 1,8-4,5 кг/Гкал в случае использования 3 котлов по сравнению с минимальным возможным в идеальных условиях при работе котла с постоянной нагрузкой, равной его номинальной теплопроизводительности.

Таблица 1 – Среднегодовой удельный расход условного топлива

Максимальный суточный расход тепла, Гкал	Годовая нагрузка, Гкал	Среднегодовой удельный расход условного топлива, кг/Гкал			Предельный максимальный удельный расход условного топлива при номинальной теплопроизводительности котла с минимальной достаточной для обеспечения заданной нагрузки теплопроизводительностью, кг/Гкал
		1 котел	2 котла	3 котла	
2	314	247,6	-	-	240,8
4	628	241,2	239,8	239,3	234,8
6	942	237,7	235,3	235,2	231,5
8	1256	235,3	233,1	232,6	229,2
10	1570	233,5	231,2	230,7	227,4
15	2356	229,5	227,8	227,4	224,8
20	3141	227,0	225,5	225,2	222,9
25	3926	225,8	223,9	223,4	220,7
30	4711	224,1	222,4	222,1	219,6
35	5496	222,8	221,3	220,9	218,6
40	6281	221,8	220,3	220,0	217,8
45	7071	220,8	219,4	219,1	217,0
50	7857	220,0	218,7	218,3	216,3
55	8637	219,3	218,0	217,6	215,7
60	9422	218,7	217,4	217,1	215,1
65	10207	218,1	216,8	216,5	214,6
70	10993	217,6	216,3	216,0	214,1
75	11778	217,2	215,7	215,5	213,7
80	12563	216,7	215,4	215,0	213,3
85	13348	216,3	214,9	214,6	212,9
90	14133	215,9	214,5	214,3	212,5

В таблице 2 представлены данные о суммарной мощности котлов, установленных на котельной, при различных значениях максимального суточного расхода тепла.

Таблица 2 - Суммарная мощность котлов на котельной

Максимальный суточный расход тепла, Гкал	Годовая нагрузка, Гкал	Суммарная мощность котлов, Гкал		
		1 котел	2 котла	3 котла
2	314	0,1	0,1	0,1
4	628	0,2	0,3	0,4
6	942	0,3	0,5	0,6
8	1256	0,4	0,7	0,9
10	1570	0,5	0,8	1,2
15	2356	0,7	1,2	1,6
20	3141	0,9	1,5	2,4
25	3926	1,2	2	2,8
30	4711	1,4	2,3	3,2
35	5496	1,6	2,8	3,7
40	6281	1,8	3	4,8
45	7071	2	3,4	5
50	7857	2,2	4	5,6
55	8637	2,4	4,4	6,2
60	9422	2,6	4,6	6,6
65	10207	2,8	5	7,2
70	10993	3	5,4	7,4
75	11778	3,2	5,6	8,6
80	12563	3,4	6	9
85	13348	3,8	6,4	9,6
90	14133	4	6,6	9,8

При использовании одного котла его теплопроизводительность выбирается минимальной достаточной для обеспечения заданной нагрузки. В среднем, теплопроизводительность котла составляет 4.3-5% от максимального суточного расхода тепла.

При использовании двух котлов величина суммарной теплопроизводительность составляет 7.5-8% от максимального суточного расхода тепла, а при использовании трех котлов - 10.6-11.3%.

В таблице 3 представлены более подробная информация о составе котлов и времени работы каждого котла в течение года при различных уровнях нагрузки.

При оптимальном выборе котлов и регулировании в случае установки двух котлов теплопроизводительность одного из них должна составлять в среднем 40% от суммарной теплопроизводительности, а второго - 60%. В 80% случаев котел меньшей теплопроизводительности работает 835-1123 часа за год, а котел большей теплопроизводительности – 3653-3941 часа. При этом котлы практически не работают вместе.

Для случая трех котлов при оптимальном выборе котлов и регулировании их теплопроизводительности составляют в среднем 25, 33 и 42% от суммарной теплопроизводительности. При этом в 85% случаев котел меньшей теплопроизводительности работает 449-835 часов в год, котел средней теплопроизводительности – 625-1102 часа, а котел большей теплопроизводительности – 3080-3654 часа. И в этом случае котлы также практически не работают вместе.

Отсутствие совместной работы котлов говорит о том, что при оптимальном выборе котлов, устанавливаемых на котельной, при каждой величине требуемой нагрузки в работу должен включаться один котел с минимальной достаточной теплопроизводительностью. Однако при этом следует учитывать также потери, возникающие при запуске ранее не работавшего котла.

Таблица 3 - Состав котлов и количество часов работы каждого котла за год

Максимальный суточный расход тепла, Гкал	1 котел		2 котла				3 котла					
	1 котел		1 котел		2 котел		1 котел		2 котел		3 котел	
	Ном. теплопроизв., Гкал/ч	Годовое время работы, ч	Ном. теплопроизв., Гкал/ч	Годовое время работы, ч	Ном. теплопроизв., Гкал/ч	Годовое время работы, ч	Ном. теплопроизв., Гкал/ч	Годовое время работы, ч	Ном. теплопроизв., Гкал/ч	Годовое время работы, ч	Ном. теплопроизв., Гкал/ч	Годовое время работы, ч
2	0,1	4776	0,1	4776			0,1	4776				
4	0,2	4776	0,1	494	0,2	4303	0,1	925	0,1	212	0,2	3851
6	0,3	4776	0,2	1123	0,3	3653	0,1	121	0,2	1092	0,3	3582
8	0,4	4776	0,3	1648	0,4	3128	0,2	279	0,3	1369	0,4	3128
10	0,5	4776	0,3	839	0,5	3937	0,3	834	0,4	1102	0,5	2840
15	0,7	4776	0,5	1122	0,7	3654	0,4	497	0,5	625	0,7	3654
20	0,9	4776	0,6	836	0,9	3940	0,6	834	0,8	1102	1	2840
25	1,2	4776	0,8	980	1,2	3796	0,7	641	0,9	816	1,2	3319
30	1,4	4776	0,9	838	1,4	3938	0,8	497	1	626	1,4	3653
35	1,6	4776	1,2	1265	1,6	3511	0,9	449	1,2	816	1,6	3511
40	1,8	4776	1,2	837	1,8	3939	1,2	835	1,6	1101	2	2840
45	2	4776	1,4	932	2	3844	1,2	497	1,6	864	2,2	3415
50	2,2	4776	1,6	980	2,4	3796	1,4	641	1,8	816	2,4	3319
55	2,4	4776	1,8	1075	2,6	3701	1,6	785	2	719	2,6	3272
60	2,6	4776	1,8	838	2,8	3938	1,6	498	2,2	1007	2,8	3271
65	2,8	4776	2	884	3	3892	1,8	641	2,4	912	3	3223
70	3	4776	2,2	932	3,2	3844	1,8	449	2,4	816	3,2	3511
75	3,2	4776	2,2	835	3,4	3941	2,2	833	2,8	720	3,6	3223
80	3,4	4776	2,4	838	3,6	3938	2,2	641	3	1007	3,8	3128
85	3,8	4776	2,6	884	3,8	3892	2,4	643	3,2	1053	4	3080
90	4	4776	2,6	787	4	3989	2,6	784	3,2	577	4	3415

Список литературы

1. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. –13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. С. 237.
2. ГОСТ 30735-2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия.
3. Порядок расчета и обоснования нормативов удельных расходов топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию от тепловых электростанций и котельных. Межрегиональный институт менеджмента энергоэффективности. – М.; 2006.
4. СНиП 23-01-99 Строительная климатология

05.23.17

В.В. Ковригина, М.С. Хлыстунов к.т.н., Ж.Г. Могилюк к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ СИСТЕМЫ С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОНСОЛЬНЫМ СТЕРЖНЕМ НА ТОРСИОННЫЕ ВИБРАЦИИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ

На базе закона сохранения момента импульса анализируются риски возбуждения экстремальных амплитуд реакции системы на резонансных частотах вращающегося стержня. В статье проводится сравнительный анализ понятийного аппарата постановки аналогичных динамических задач в смежных дисциплинах на примере волновой реакции вращающегося консольного стержня на вибрации его оси вращения.

Ключевые слова: *гидростанции, электрические машины, виброактивное оборудование, вращение, динамические нагрузки, механизм волнового переноса, момент импульса, закон сохранения*

Как в российских, так и в зарубежных университетах одним из важных разделов курса механики по смежным дисциплинам является постановка и решение динамических задач. Однако сравнительный анализ базовых понятий динамики конструкций и подходы к решению динамических задач, например, с позиций теоретической механики и механики твердого тела показывает наличие существенного расхождения в терминологическом определении физической сущности рассматриваемых явлений и процессов [1-5].

Для конкретизации рассматриваемой проблемы рассмотрим систему с вращающимся консольным стержнем (рис.1) и типовые элементарные задачи с точки зрения этих дисциплин, а также в развитие изложения проанализируем реакцию такой системы на крутильные вибрации оси вращения (рис.2).

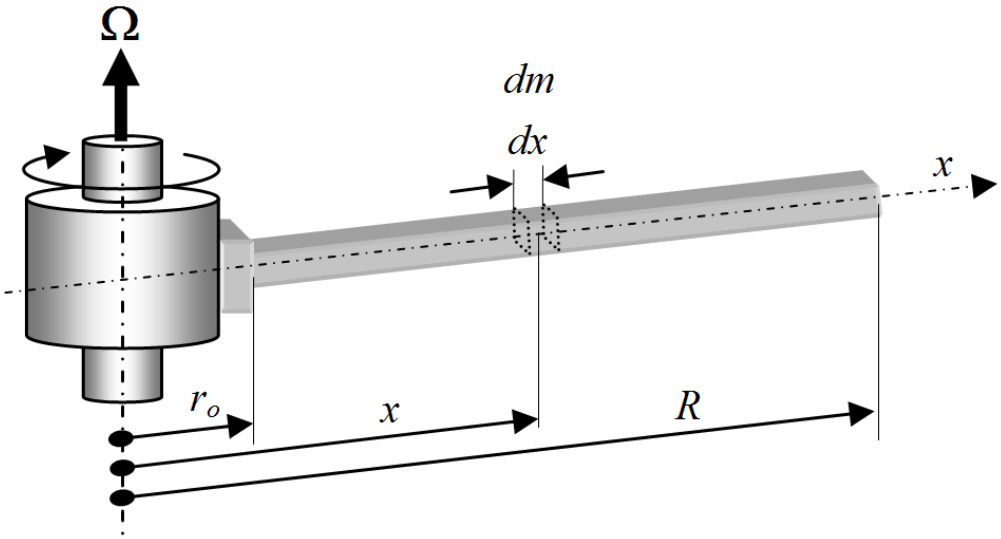


Рис.1- Система с вращающимся консольным стержнем

Типовой задачей теоретической механики для такой системы является расчет момента количества движения такого стержня. В результате ее решения получаем интегральное выражение:

$$L = \int_{x=r_o}^{R} m_x \Omega x^2 dx = \frac{1}{3} m_x \Omega x^3 \Big|_{r_o}^{R} = \frac{1}{3} m_x \Omega \left(R_o^3 - r_o^3 \right) = const\,. \qquad (1)$$

Далее можно сделать вывод о том, что такая система при отсутствии внешних сил и трения тривиально подчиняется закону сохранения момента импульса. Эта задача относится к разделу динамики теоретической механики, так как из условия задачи следует, что твердое тело (стержень) перемещается во времени, обладает кинетической энергией и моментом импульса. Вместе с тем состояние системы остается стабильным и параметры ее движения не зависят от времени.

С позиций механики твердого тела, например, сопротивления материалов или теории упругости, важно решить задачу о распределении механических напряжений, например продольных σ_{xx} вдоль главной оси вращающегося стержня. Решением такой задачи также является интегральное выражение:

$$\sigma_{xx}(x) = \frac{1}{S} \int_{x}^{R} m_x \Omega^2 x dx = \frac{1}{2S} m_x \Omega^2 x^2 \Big|_{r_o}^{R} = \frac{1}{2S} m_x \Omega^2 \left(R_o^2 - x^2 \right) = const\,, \qquad (2)$$

согласно которому распределение продольных напряжений вдоль оси стержня, несмотря на его вращение, остается стабильным и его параметры также не зависят от времени. Поэтому, с точки зрения сопротивления материалов и теории упругости, такая задача является статической.

Рассмотрим случай на рис.2, при котором такая задача для указанных дисциплин может быть отнесена к разделу динамических.

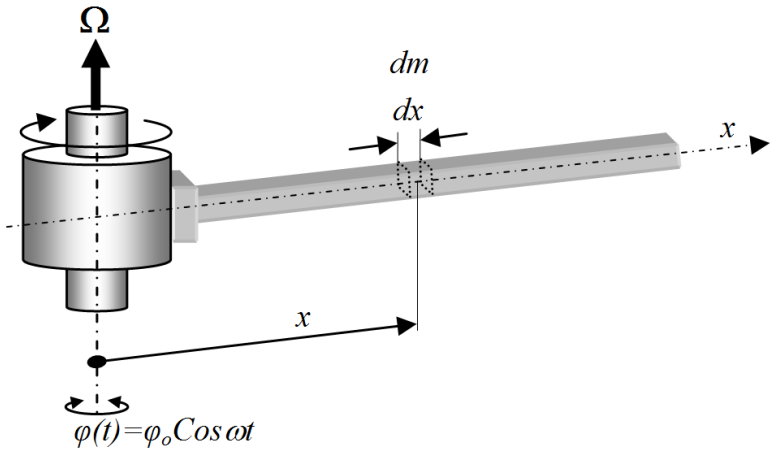


Рис.2- Вибрирующая система с вращающимся консольным стержнем

Например, рассмотрим аналогичную систему с вращающимся стержнем на рис.2, на которую, в отличие от предыдущей, действует крутильные или торсионные вибрации $\varphi(t)=\varphi_o Cos\,\omega t$, поступающие через ось вращения (технически правильнее – через вал вращения) на стержень.

В случае совпадения частоты вибраций ω с одной из резонансных частот изгибных или сдвиговых колебаний стержня распределение угловых деформаций будет соответствовать эпюрам, представленным на рис.3.

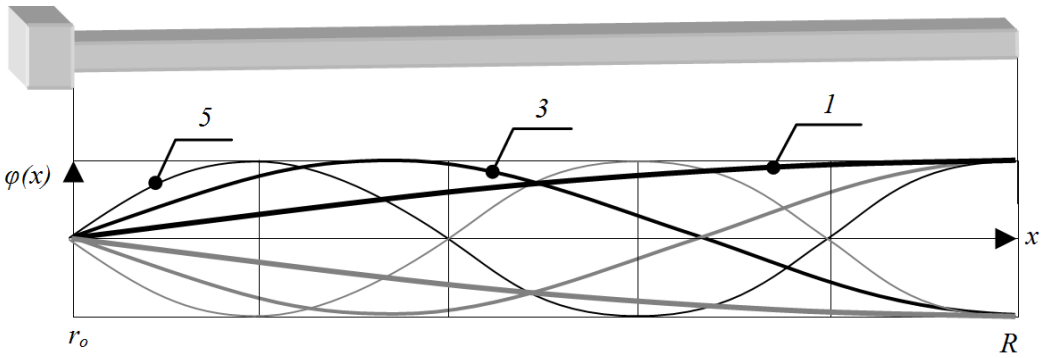


Рис.3- Схемы и графики мгновенного распределения максимальной интенсивности динамических деформаций стержня на основном продольном резонансе (*1*) и на его третьей (*3*) и пятой (*5*) гармониках

В результате крутильных вибраций, например, на частотах, далеких от резонансных, будут возникать тангенсальные механические напряжения τ_{xy}, зависящие от времени и от положения точки их расчета на оси стержня, а продольные напряжения σ_{xx} утратят свою стабильность и станут зависящими от времени:

$$\sigma_{xx}(x,t) = \frac{1}{S}\int_x^R m_x \left\{\Omega + \varphi_o \omega Sin\left[\omega t - \alpha(x)\right]\right\}^2 xdx \neq const, \tag{3}$$

где функция углового смещения элементарных масс вдоль длины стержня:

$$\alpha(x) = \alpha_o Sin 2\pi \frac{\left(x - r_o\right)}{\lambda}, \tag{4}$$

а длина волны упругих тангенсальных перемещений, например угловых, будет пропорциональна скорости c_s поперечной волны и обратно пропорциональна частоте вибраций ω:

$$\lambda = \frac{2\pi c_s}{\omega}. \tag{5}$$

С учетом соотношения (5) функция (4) может быть записана в следующем виде:

$$\alpha(x) = \alpha_o Sin\left[\frac{\left(x - r_o\right)}{c_s}\omega\right]. \tag{6}$$

Таким образом, только в данной постановке, когда напряженно-деформированное состояние (3) становится зависящим от времени и от скорости волнового распространения упругих механических напряжений в теле стержня, рассматриваемая задача механики твердого тела, в отличие от теоретической механики, может быть отнесена к числу динамических.

Наряду с этим в случае вибраций, исследование механизма динамической реализации закона сохранения момента импульса в рассматриваемой системе представляет не только определенный научный интерес. Его результаты могут иметь важные практические последствия.

Рассмотрим гипотетический вариант, когда искусственно введенной в систему виртуальной двигательной установкой обеспечивается стабильность (постоянство) угловой скорости вращения стержня. В этом случае собственный момент количества движения системы станет зависящим от времени и скорости распространения упругих волн в теле стержня:

$$\tilde{L} = \int_{x=r_o}^{R} m_x \left\{ \Omega + \varphi_o \omega Sin\left[\omega t - \alpha(x) \right] \right\} x^2 dx \neq const\,. \qquad (7)$$

С учетом эпюры волнового распределения угловых деформаций вдоль длины стержня (6) выражение (7) примет вид:

$$\tilde{L} = \int_{x=r_o}^{R} m_x \left\{ \Omega + \varphi_o \omega Sin\left[\omega t - \alpha_o Sin\left(\frac{(x - r_o)}{c_s} \omega \right) \right] \right\} x^2 dx \neq const\,. \qquad (8)$$

В интегральном выражении можно выделить две составляющие, независящую $L=const$ и зависящую $L_в(t)\neq const$ от времени:

$$\tilde{L} = \int_{x=r_o}^{R} m_x \Omega x^2 dx + \int_{x=r_o}^{R} m_x \varphi_o \omega Sin\left[\omega t - \alpha_o Sin\left(\frac{(x - r_o)}{c_s} \omega \right) \right] x^2 dx = L + L_в(t)\,. \qquad (9)$$

На следующем этапе исследования удалим виртуальный двигатель и тогда система, несмотря на вибрации, должна самостоятельно обеспечивать выполнение требований закона сохранения момента импульса, значение которого должно оставаться равным его установившейся величине до момента возникновения вибраций.

То есть в системе, без дополнительных внешних источников энергии, должен автономно генерироваться антивибрационный момент импульса, обеспечивающий выполнение закона сохранения:

$$L = \tilde{L} + L_{ав}(t) = const\,. \qquad (10)$$

Антивибрационный момент импульса $L_{ав}(t)$, исходя из полученных зависимостей (1) и (9), должен быть равен с обратным знаком, зависящей от времени составляющей в интегральном выражении (9):

$$L_{ав}(t) = -\int_{x=r_o}^{R} m_x \Delta\Omega(t) x^2 dx = -\int_{x=r_o}^{R} m_x \varphi_o \omega Sin\left[\omega t - \alpha_o Sin\left(\frac{(x - r_o)}{c_s} \omega \right) \right] x^2 dx\,. \qquad (11)$$

Тогда суммарный момент импульса автономной системы с вибрациями на рис.2 станет независящим от времени и удовлетворяющим закон сохранения:

$$L = L + L_в(t) - L_{ав}(t) = const\,. \qquad (12)$$

В конечном виде условие выполнения закона сохранения (12), после дифференцирования интегрального уравнения (11) примет следующий окончательный вид:

$$\Delta\Omega(t) = -\varphi_o \omega Sin\left[\omega t - \alpha_o Sin\left(\frac{(x - r_o)}{c_s} \omega \right) \right]. \qquad (13)$$

Однако с точки зрения твердотельной акустики условие (13) является приближенным и идеализированным по умолчанию, в связи с существованием затухания волны, ее отражения от заделки и от свободного торца стержня с некоторым запаздыванием или поворотом фазы, а также в случае возбуждения в стержне резонансов, как на продольных, так и на поперечных модах волнового процесса. В этом случае необходимо учитывать как вещественные, так и мнимые составляющие параметров динамического процесса в широкой полосе частот.

Учитывая ограничения в требованиях к объему статьи исследуем в упрощенном изложении последствия возбуждения акустического резонанса сдвиговой или изгибной моды колебаний стержня, когда при поступлении на стержень поперечного динамического воздействия $\varphi(t) = \varphi_o Sin\omega t$ интенсивность сдвиговых волновых деформаций вдоль длины стержня будет определяться АЧХ стержня:

$$\left|K(j\bar{f})\right| = \frac{K_o}{\sqrt{1+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+\bar{f}^4}}. \qquad (14)$$

Тогда амплитуда (модуль) результирующих поперечных деформаций стержня $\varphi_c(t)$ будет определяться не только амплитудой торсионных вибраций φ_o, но и его динамической реакцией или АЧХ:

$$\left|\varphi_c(\bar{f})\right| = \left|K(\bar{f})\varphi_o\right| = \left|\frac{K_o\varphi_o}{\sqrt{1+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+\bar{f}^4}}\right|. \qquad (15)$$

При учете резонансного явления (15) условие (13) можно записать в следующем виде

$$\left|\Delta\Omega(\bar{f},t)\right| = -\left|\frac{K_o}{\sqrt{1+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+\bar{f}^4}}\left\{\varphi_o\omega Sin\left[\omega t-\alpha_o Sin\left(\frac{(x-r_o)}{c_s}\omega\right)\right]\right\}\right|. \qquad (16)$$

Так как нормированная циклическая частота нормирована по частоте резонанса:

$$\bar{f} = \frac{f}{f_r} = \frac{\omega}{2\pi f_r} = \frac{\omega}{\omega_r}, \qquad (17)$$

то тогда

$$\omega = \bar{f}\omega_r, \qquad (18)$$

а условие (16) примет следующий окончательный вид:

$$\left|\Delta\Omega(\bar{f},t)\right| = \left|\frac{K_o\varphi_o}{\sqrt{1+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+\bar{f}^4}}\left\{\bar{f}\omega_r Sin\left[\bar{f}\omega_r t-\alpha_o Sin\left(\frac{(x-r_o)}{c_s}\bar{f}\omega_r\right)\right]\right\}\right|. \qquad (19)$$

Следует отметить, что выражение (19) корректно, только для иллюстрации среднестатистического резонансного эффекта при одночастотной гармонической вибрации и не учитывает фазовое запаздывание, вещественных и мнимых составляющих параметров процесса. Это может быть устранено только при представлении (14), (15), (16) и (19) в виде комплексных функций, например, для (19):

$$\Delta\Omega(j\omega) = -K(j\omega)\varphi_в(\alpha, j\omega). \qquad (20)$$

При всей условной абстрактности поставленной и исследуемой в статье динамической задачи, искусственного неучета тонких акустических и нелинейных параметрических эффектов слабой интенсивности, полученное упрощенное условие автостабилизации системы по моменту количества движения (19) имеет несомненную перспективу теоретического и практического развития.

Это связано с тем, что практически все объекты энергетического строительства (ТЭЦ, ГЭС, АЭС и др.) отличаются высоким уровнем и сочетанием всех возможных мод вибраций, оборудованы сложным оборудованием с массивными вращающимися элементами. В связи с этим несущие строительные конструкции и основания таких объектов в результате возбуждения эффектов автостабилизации испытывают мощные сверхпроектные динамические перегрузки и, как следствие, подвергаются ускоренному износу, что подтверждается, в том числе, аварией на Саяно-Шушенской ГЭС.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558 с.
3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
4. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», - М.: ВНИИНТПИ, №3, 2003, 16 с.
5. Ультразвук. Под ред. *И.П.Галямина.* –М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.

05.23.17

А.В. Колесников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский государственный строительный университет,
институт фундаментального образования, кафедра сопротивления материалов,
Москва, heallex@yandex.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Предложен оптимальный алгоритм регуляризации задачи идентификации динамических систем. Проведен сравнительный анализ различных методов на примере восстановления известной импульсной переходной функции.

Ключевые слова: *Сейсмостойкость, землетрясения, расчет, нелинейность, акселерограмма, здание, динамика, масса, диссипация, жесткость, деформация, численные методы.*

Вопросы надежности строительных объектов в сейсмоактивных районах в значительной степени зависят от адекватности принятой расчетной модели объекта и его реальной работы. Задачи идентификации расчетных моделей сооружений с использованием экспериментальных данных относятся к классу некорректно поставленных задач и являются объектами исследования обратных задач динамики, поэтому их решение должно быть связано с регуляризацией.

Рассмотрим стационарную во времени относительно статистик первого и второго порядков линейную систему, на вход которой воздействует сигнал $f(t)$ и описываемую линейным неоднородным ОДУ с постоянными коэффициентами l - го порядка

$$a_0 x^{(l)}(t) + a_1 x^{(l-1)}(t) + a_2 x^{(l-2)}(t) + \ldots + a_{l-1} x(t) + a_l = f(t) \qquad (1)$$

где $x^{(n)}(t)$ - производная n-ого порядка выходного сигнала линейной системы;

t - параметр типа времени.

Решение этого дифференциального уравнения для различных значений входной величины $f(t)$ дает соответствующую выходную величину $x(t)$.

Описание с помощью ОДУ имеет тот недостаток, что его постоянные коэффициенты трудно измерить, к тому же выходную характеристику проще вычислить методами операционного исчисления. Поэтому в технических приложениях для описания зависимости (1) применяют так называемую импульсную переходную характеристику (ИПХ) или весовую функцию $h(t)$ доступные непосредственному измерению. Для этого на вход системы подают специальные тестовые сигналы $f(t)$, измеряют выходной сигнал системы и по этой информации строят $h(t)$.[1]

С точки зрения теории ОДУ построенная таким образом весовая функция $h(t)$ является частным решением неоднородного уравнения (1). В том случае, если на вход линейной системы подается короткий импульс, в идеальном случае дельта-функция Дирака, то весовая функция $h(t)$ в теории ОДУ получила название функции Грина. Будем считать, что в результате специальных экспериментов для линейной системы построена функция Грина h(t). Тогда в установившемся режиме сигнал выхода линейной системы можно выразить через так называемый интеграл свертки:

$$x(t)=\int_{a}^{b} h(\tau)\cdot f(t-\tau)d\tau=\int_{a_1}^{b_1} h(t-\tau)\cdot f(\tau)d\tau \qquad (2)$$

где τ - переменная интегрирования типа времени. Уравнение (2) устанавливает связь между входным, выходным сигналами и ИПХ линейной системы. Так как мы имеем дело с экспериментальными данными, т.е. обладающими измерительными ошибками, то более реалистичным описанием линейной системы будет следующее выражение

$$x(t)=\int_{a}^{b} h(\tau)\cdot f(t-\tau)d\tau=\int_{a_1}^{b_1} h(t-\tau)\cdot f(\tau)d\tau+n(t) \qquad (3)$$

где $n(t)$ - ошибки измерения и моделирования. В зависимости от конкретной задачи, пределы интегрирования могут быть константами, переменными, или несобственными числами $\pm\infty$.

Передаточные функции являются центральным понятием классической теории автоматического управления. Они основаны на использовании преобразования Лапласа всех процессов как функций времени.

Передаточная функция дискретной системы определяется отношением дискретного преобразования выходной величины к дискретному преобразованию входной величины при нулевых начальных условиях.

Зная передаточную функцию, можно определить все динамические характеристики системы. Вся сложность заключается в том, что ее определить очень трудно, из-за неопределенных характеристик динамической системы.

Как известно, передаточную функцию динамической системы можно определить, решив ее при импульсном воздействии. Пусть, имеется динамическая система при нулевых начальных условиях:

$$M\ddot{y}(t)+D\dot{y}(t)+Ry(t)=\delta(t), \qquad (4)$$

где $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака.

Тогда решение (4) будет представлять собой передаточную функцию $h(t,\tau)$, зная которую, можно при помощи интеграла Дюамеля (при помощи свертки) получить решение на любое внешнее воздействие $f(t)$:

$$\mathrm{y(t)}=\int_{0}^{t} f(\tau)\cdot h(t-\tau)d\tau. \qquad (5)$$

Воздействие в виде сбрасываемого груза на грунт основания здания или сооружения, представляет собой дельта-функцию Дирака $\delta(t)$.

В месте предполагаемого размещения источника волн наносят удар по грунту с известной величиной импульса. Для нанесения удара можно использовать, например, копровую бабу или самоходный кран. При ударе регистрируют колебания грунта в тех местах, где необходимо выполнять прогнозирование ожидаемых колебаний. Зарегистрированные колебания характеризуют импульсную переходную функцию системы, экспериментальное определение которой позволяет учитывать особенности геологического строения площадки.

Далее, по полученным данным, расчетным путем определяют ожидаемые колебания при помощи интегралов Дюамеля или Фурье. Вычисление интегралов осуществляется на ЭВМ.

Аналогичным образом можно выполнять прогнозирование колебаний существующих сооружений при проектировании фундаментов под машины.[2]

Во время эксперимента можно записать выходные данные системы $\tilde{y}(t)$, которые будут содержать в себе импульсную передаточную функцию $h(t)$ и некий шум $n(t)$, т.е.:

$$\tilde{y}(t) = h(t) + n(t). \qquad (6)$$

Реакция системы на гармоническое воздействие может быть получена аналогично (5) сверткой:

$$\ddot{y}(t) = \int_0^t \sin(\omega\tau)\cdot\tilde{y}(t-\tau)d\tau = \int_0^t \sin(\omega\tau)\cdot h(t-\tau)d\tau + \int_0^t \sin(\omega\tau)\cdot n(t-\tau)d\tau. \qquad (7)$$

Таким образом, с учетом (6), имеем:

$$\ddot{y}(t) = y(t) + N(t). \qquad (8)$$

Получаем решение исходной системы с некоторой погрешностью $N(t)$. Очистив решение (8) от шумов, получим истинное решение от гармонического воздействия.

Решение обратной задачи в такой постановке является задачей о «Черном ящике»: имеются входные и выходные данные, необходимо определить его характеристики (рис. 1).

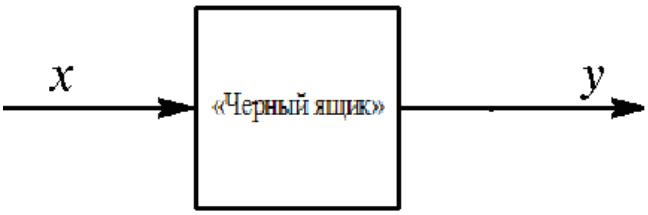


Рис. 1. Типичная обратная задача идентификации, решаемые методом минимума статистической неопределимости - задача о «Черном ящике»

Рассмотрим следующий модельный пример с «Черным ящиком». Пусть идентифицируемая система описывается дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$y''(t) + 2\xi y'(t) + \omega^2 y(t) = -x(t). \qquad (9)$$

Известно [например, 2, 3], что импульсная переходная функция задачи (9) задается функцией вида:

$$w(t) = \frac{1}{\omega} e^{-\xi t}\sin(\omega\cdot t).$$

В качестве входного воздействия зададим сигнал в виде синусоиды – $\sin(\Omega\cdot t)$.

Нормированная автокорреляционная и взаимно-корреляционная функция модельной задачи представлена на рис.4.

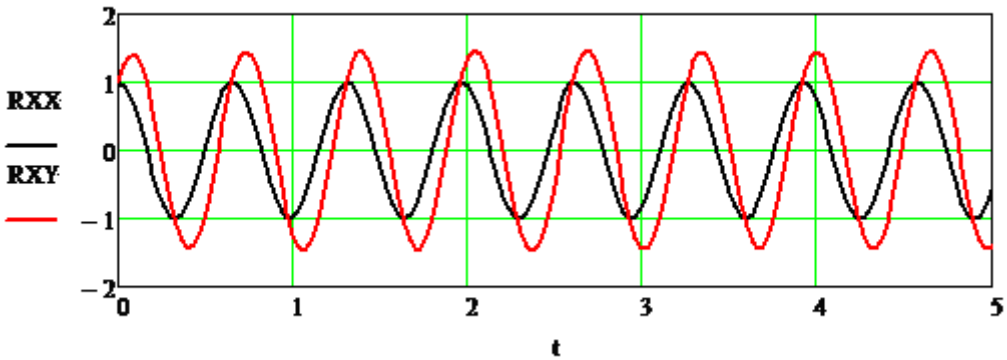


Рис. 2. Нормированная автокорреляционная и взаимно-корреляционная функция модельной задачи.

На рис. 3. приведены результаты решения уравнения Винера-Хопфа методом минимума статистической неопределимости. Как нетрудно видеть задача восстановления ИПФ является устойчивой и мало отличается от теоретической кривой.

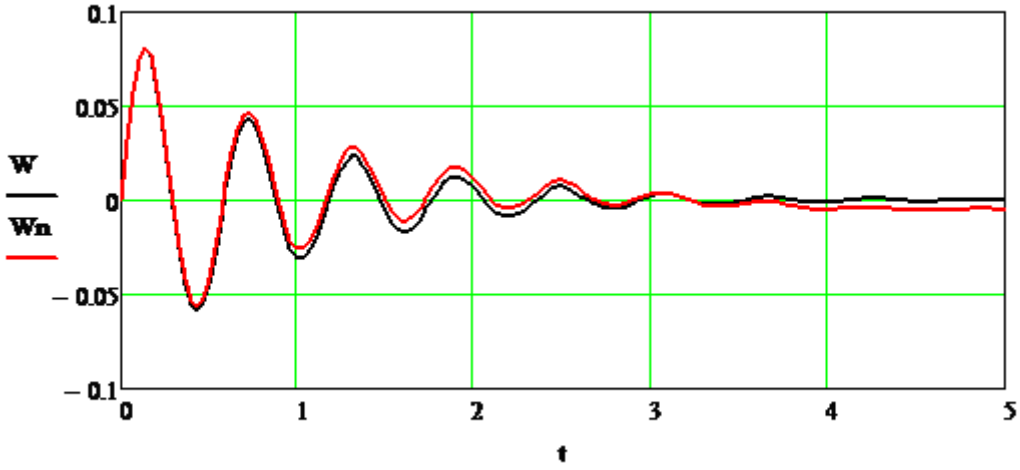


Рис. 3. Теоретическая ИПФ и результаты решения уравнения (9) методом минимума статистической неопределимости.

На рис. 4 приведен сравнительный анализ выходных сигналов: теоретической и определенных по ИПФ, рассчитанным методом регуляризации по Тихонову и методом минимума статистической неопределимости.

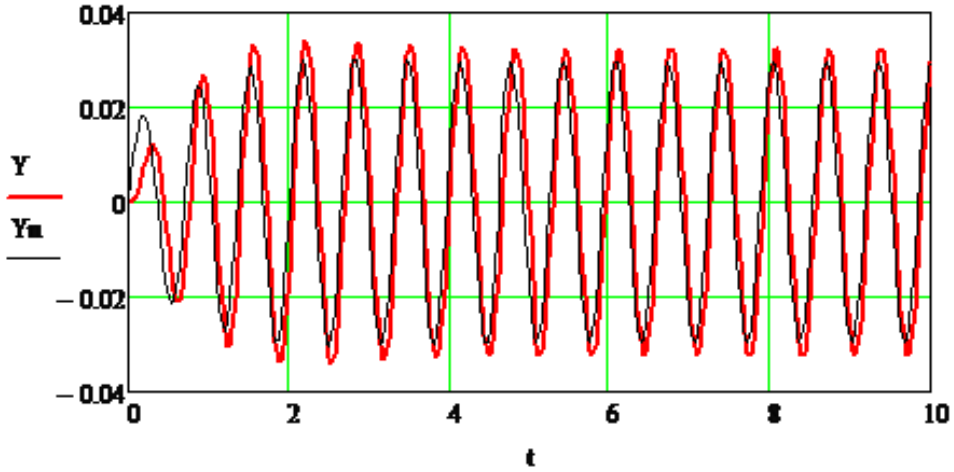


Рис. 4 Сравнение теоретического и расчетных выходных сигналов динамической системы, методом регуляризации по Тихонову и минимумом статистической неопределимости.

Результаты анализа показывают высокую эффективность метода минимума статистической неопределимости, который по сравнению с классическим методом регуляризации по Тихонову позволяет повысить точность идентификации, особенно при малых уровнях шумов.[4]

Таким образом, проверка адекватности разработанных расчетных моделей проводится сравнением экспериментальных данных физической модели с результатами численных исследований работы конструкции. Экспериментальные данные содержат неопределенность, связанную с погрешностями измерительных приборов, нагружающих устройств, изменением внешних условий во время эксперимента и т.д., в то время как исходные параметры, закладываемые в расчетную модель сооружения, обладают существенной изменчивостью

(физико-механические характеристики материалов конструкций, в особенности железобетон, жесткости элементов и т.д.), то математически задачу проверки адекватности расчетной модели реальному объекту (физической модели) можно трактовать как проверку некоторой совокупности статистических гипотез.

Предлагаемый подход к исследованиям сложных строительных конструкций основан на системном анализе, комплексном использовании методов математического и физического моделирования в зависимости от их экономической целесообразности и полезности для решения поставленной задачи. [4, 5]

Процесс исследований представлен как совокупность последовательно выполняемых этапов, содержащих формальные и неформальные процедуры. Максимально возможное выделение формальных методов и приемов позволяет снизить влияние субъективных факторов на результаты исследований. Основной упор сделан на численные исследования с применением средств автоматизации и ЭВМ на основе достоверных расчетных моделей. Физический эксперимент используется, как правило, для определения неизвестных параметров расчетной модели и проверки ее адекватности. Это дает возможность разрабатывать физические модели исследуемых объектов на основе функционального подобия, благодаря чему существенно сокращаются затраты ресурсов на физическое моделирование.

Однако комплексное применение методов математического и физического моделирования нуждается в дальнейшем углублении и совершенствовании. Можно полагать, что применение настоящих методических рекомендаций даст возможность выполнять прочностные исследования сложных строительных конструкций на единой методологической основе, что позволит снизить стоимость и трудоемкость исследований, сократить сроки их проведения, повысить достоверность и научную ценность получаемых результатов.

Список литературы

1. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979
2. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ./ под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991, - 423 с.
3. *Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И.* Методы автоматизированного исследования вибрации машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с
4. *Денисов Б.Е., Зельдин Б.А.* О задачах идентификации динамических моделей сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации и единственности их решений // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. - №4. – с. 47-53.
5. *Алексидзе М.А.* Решение некоторых основных прямых и обратных задач сейсмологии. – Тбилиси: Мецниереба, 1990, - 429 с.

05.13.01

Л.А. Корякин

Московский авиационный институт (технический университет "МАИ"),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, l.a.koryakin@gmail.com

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В данной статье описан подход к разработке архитектуры интегрированной системы управления машиностроительного предприятия на базе современных унифицированных программных платформ класса ERP-систем.

Ключевые слова: *автоматизированные промышленные системы, типовые бизнес-процессы, архитектура системы управления предприятием, интеграция.*

Современный этап развития отечественных машиностроительных предприятий характеризуется переходом к глубокой модернизации систем управления предприятиями на базе современных унифицированных программных платформ. Использование унифицированных программных платформ в качестве «технической» основы создания интегрированных систем управления предприятиями (группами предприятий/корпорациями) на сегодняшний день является нормой. Это связано с тем, что фирмы-разработчики, через практический опыт внедрения и эксплуатации программного обеспечения, реализуют в программном коде своих систем управленческие бизнес-решения характерные для схожих (по виду деятельности) предприятий. Такой подход позволяет конкретному предприятию, вместе с покупкой специализированного программного обеспечения, получить набор типовых («стандартизированных») процессов управления, которые уже прошли практическую апробацию.

В настоящей статье приводятся основные составляющие элементы методологического подхода, который применяется автором при выполнении работ по созданию/модернизации систем управления на отечественных машиностроительных предприятиях на базе унифицированной программной платформы класса ERP-система.

Архитектура системы

В основе предлагаемого подхода, лежит представление архитектуры системы управления предприятием в виде трех условных слоев, при этом:

- каждый из слоев решает свой комплекс задач необходимых для работы автоматизированной системы управления предприятием;
- в комплексе эти слои позволяют реализовать в системе управления предприятием такие фундаментальные свойства как наблюдаемость и прослеживаемость выполняемых бизнес-процессов.

Первый слой – Базис Системы. Основное назначение этого слоя - обеспечение соответствия формируемой на его основе системы управления предприятием современным требованиям предъявляемым к такого рода автоматизированным системам. В первую очередь, учитываются требования в области систем менеджмента качества (ISO серии 9000 и развивающие их отечественные стандарты/технические условия), а также требования к архитектуре предприятия серии стандартов по промышленным автоматизированным системам (ГОСТ Р ИСО 14258-2008, ГОСТ Р ИСО 15704-2008, ГОСТ Р ИСО 19439-2008 и т.д.).

Базис системы инвариантен. На его основе могут быть реализованы различные варианты системы управления предприятием, которые далее могут расширяться, модифицироваться и т.д. Но в каждом из возможных вариантов, будет обеспечено соответствие заложенным в

Базис требованиям.

Второй слой обеспечивает интегрированное управление этапами жизненного цикла изделий, которые производятся на предприятии в качестве основной/готовой продукции (тоже относится и к поставляемым услугам). Применительно к типичному машиностроительному предприятию – этот слой обеспечивает интеграцию различных видов деятельности, связанных с выполнением заказов предприятия, включая конструкторские доработки, подготовку производства, изготовление и послепродажное сопровождение индивидуализированных изделий, проведение экономического анализа результатов выполнения заказов и т.д.

Этот слой в дальнейшем может служить основой для реализации CALS-технологий, а также использоваться для управления кооперированным производством – совместной деятельностью нескольких предприятий-смежников в интересах достижения поставленными перед ними целями (например, в виде такой организационной формы, как «виртуальное предприятие»).

Третий слой содержит структуры, методы, алгоритмы и сформированные на их основе конкретные процессы управления основным и вспомогательным производством, материально-техническим обеспечением и финансово-экономической деятельностью предприятия, решения задач управления персоналом и т.д. При этом, набор бизнес-процессов, реализуемых в третьем слое, может изменяться в зависимости от конкретных решаемых предприятием задач в конкретный момент времени. В числе таких, предъявляемых сегодня к современному машиностроительному предприятию, задач: возможность реализации и позаказного производства, и серийного производства; сквозное планирование выполнения производственных заказов (от договора с Заказчиком до адресной поставки готовой продукции или отдельных комплектующих); временного и финансового мониторинга хода выполнения заказов; координации планов производства и поставок материалов и ПКИ; отслеживание изменений, вносимых в конструкторскую и технологическую документацию и др.

Оперативное изменение совокупности применяемых предприятием бизнес-процессов реализуется за счет использования элементов из набора типовых управленческих бизнес-решений (бизнес-процессов) унифицированной программной платформе. Кроме этого, за счет ориентации на использование типовых бизнес-процессов, формируется высокий потенциал тиражируемости бизнес-решений, когда перенос элементов системы управления предприятием на другие аналогичные предприятия превращается в набор достаточно рутинных действий.

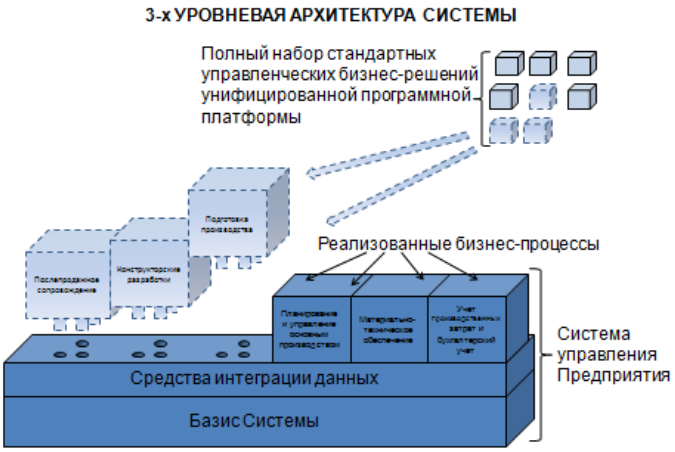


Рис. 1. 3-х уровневая архитектура системы управления предприятия.

Базис Системы

Базис Системы, в свою очередь, представляет собой три неразрывные и определенным образом взаимодействующие компоненты:

- организационная система – управленческий персонал предприятия;
- техническая система – средства автоматизации процессов управления, как правило, компьютерное и сетевое оборудование, а также программное обеспечение;
- документация – зафиксированная в документах система правил, определяющих функции и взаимодействия подразделений/сотрудников в процессах управления, а также правил выполнения каждым из них возложенных на него функций (с учетом или без учета средств автоматизации).

Такое представление базиса отражает важность достижения неразрывных взаимосвязей управленческого персонала предприятия и используемых средств автоматизации при выполнении своих должностных обязанностей на предприятии.

Второй базовый элемент подхода формулируется следующим образом:

проектируемый программно-информационный комплекс системы управления предприятием необходимо рассматривать как организационно-техническую систему (ОТС), которая включает информационно-техническую, кадровую и методологическую составляющие.

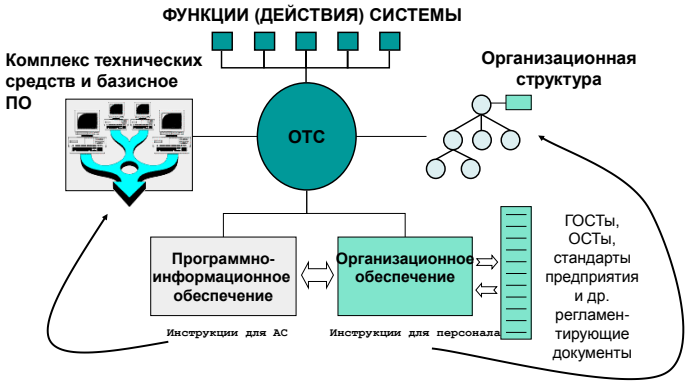


Рис. 2. Типовая ОТС и взаимосвязь её трех составных компонент.

Организационное обеспечение – основа формирования набора исполняемых бизнес-процессов.

Документация в структуре современной системы управления предприятием занимает крайне важное место, т.к. именно она обеспечивает эффективное совместное функционирование организационной и технической компонент ОТС.

На каждом работающем предприятии существует наработанная нормативная база (СТП, ТУ, набор должностных инструкций и т.д.), в которой отражаются характерные особенности деятельности предприятия (например, характер производимой продукции, используемые методы финансово-экономического учета деятельности, тип производства и т.д.).

Активная работа с нормативной базой предприятия (анализ, приведение этой базы в соответствие с современными стандартами и реинжиниринг действующих хозяйственных операций под особенности использования программной платформы) является третьим базовым элементом подхода к созданию/модернизации системы управления машиностроительным предприятием. Реализация этого элемента позволяет, через определение соответствия между действиями, зафиксированными в нормативной документации предприятия и набором типовых бизнес-процессов, поставляемых вместе с программной платформой, выделить такую совокупность конкретных бизнес-процессов, которая необходима предприятию для выполнения своей каждодневной деятельности.

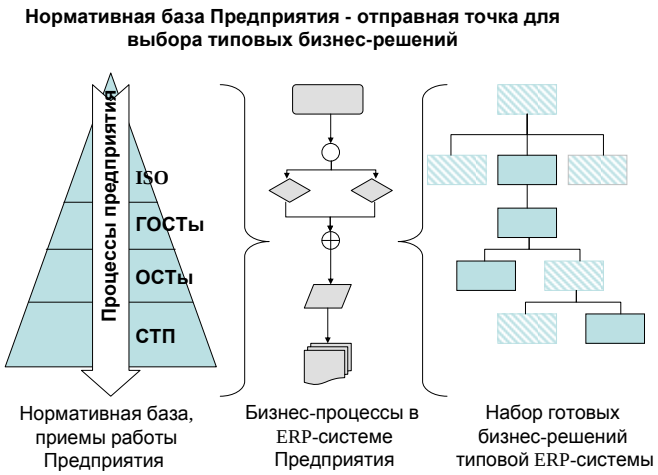


Рис. 3. Бизнес-процессы предприятия как результат нахождения соответствия между типовыми решениями программной платформы и нормативной базой предприятия.

При таком подходе, с одной стороны, мы получаем четкое представление об объекте автоматизации и присущих ему характерных особенностях, с другой, применение готовых решений мирового уровня позволяет запустить процесс модернизации системы управления Предприятием и вывести его, путем освоения передовых методов управления, на «хороший» мировой уровень, повысив конкурентоспособность предприятия.

К сожалению, во многих случаях именно документации, как методологической составляющей системы управления предприятием, не уделяется должного внимания (хотя именно эта составляющая сегодня является той базой знаний предприятия, которая в основном формирует ценность и стоимость системы управления конкретного предприятия).

Заключение

Современные унифицированные программные платформы поставляются вместе с набором готовых бизнес-процессов, достаточным для построения интегрированной системы управления машиностроительного предприятия практически любого типа производства.

Процесс создания/модернизации системы управления предприятием, при применении предлагаемого в статье подхода, можно представить как «лего-процесс», когда из существующего набора бизнес-решений выбираются только те, которые наиболее подходят для конкретного предприятия.

Машиностроительное предприятие должно воспринять современные программные инструменты для модернизации своей системы управления точно так же, как оно воспринимает современные производственные технологии. Необходимо только иметь желание и волю воспользоваться «лучшими мировыми бизнес-практиками» в своих интересах.

05.17.07

[1]Ю.Ю. Костаков, [1]Э.Н. Безматерных к.х.н., [2]В.Г. Рябов д.т.н., [2]А.В. Кудинов

[1]ООО «ФЛЭК»,
Пермь, flek@flek.pnsh.ru

[2]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет,
Пермь, rvg@pstu.ru

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЭМУЛЬГАТОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ НА УПСВ «ПАШНЯ»

Приведены результаты исследований по определению эффективности ряда деэмульгаторов на искусственной эмульсии Пашнинского месторождения. Предложено использовать вместо базового реагента СНПХ 4315Д5 более эффективный деэмульгатор ФЛЭК-Д-007. Определены оптимальные технологические параметры для обезвоживания нефти на УПСВ «Пашня»

Ключевые слова: *деэмульгатор, обезвоживание нефти, нефтяная эмульсия*.

Исследования проводили по методике «Bottle Test» [1].

Поскольку на УПСВ «Пашня» проводят предварительное обезвоживание нефти Пашнинского и Берегового месторождений и деэмульгатор в систему сбора не подается, пробу нефти для исследований отбирали на гребенке после смешения нефти с различных месторождений.

Результаты исследований эмульсионной устойчивости нефтей, поступающих на УПСВ «Пашня», представлены в табл. 1-2.

Исходная обводненность эмульсии, поступающей на УПСВ, превышает 80 %. При отборе проб вода частично выделяется без воздействия деэмульгатора до остаточной обводненности 35-40 %. В связи с чем, сравнительная эффективность с реагентом СНПХ 4315Д4 и определение дозировки реагента были проведены на эмульсии с обводненностью 38%.

Выполненые исследования показали, что при температуре 50оС и времени отстоя 1 час все испытанные реагенты обеспечивают обезвоживание нефти до остаточного содержания менее 5 % при дозировке 30 г/т.

Для моделирования полного цикла технологических операций УПСВ была приготовлена искусственная эмульсия с ранее выделившейся водой. Дисперсность эмульсии доводили до такого состояния, чтобы вода без воздействия деэмульгатора не выделялась в течение 1 часа.

При подаче деэмульгатора на гребенку на входе УПСВ (время перемешивания 7 минут) вода в НГСВ выделяется не достаточно интенсивно, даже в летнее время (табл.1). В тоже время при дальнейшем нагреве до 50°С и отстое 1 час, необходимое качество нефти обеспечивается (остаточное содержание воды менее 5 %). Однако для обеспечения времени нахождения эмульсии в НГСВ 30 минут потребуется необоснованно большое количество аппаратов.

При экономически и технологически целесообразном времени сепарации 10 минут и дозировке деэмульгатора 30 г/т в НГСВ выделение воды будет происходить до остаточной обводненности 60 % в летнее время, 65 % в зимний период.

Для интенсификации процесса отделения воды в НГСВ требуется повышение дозировки деэмульгатора на УПСВ до 50-65 г/т.

Результаты обезвоживания нефти при подаче в систему сбора, в зависимости от времени контакта, приведены в табл. 2. Полученные данные показывают, что при времени контакта реагента в системе сбора 15 минут отделение воды в НГСВ происходит также не достаточно

интенсивно. Увеличение времени контакта реагента в системе сбора до 30 – 45 мин. позволяет сбросить свободную воду в НГСВ до остаточного содержания 30-20 % в течение 10 минут. Т.е. при времени контакта 30 минут и более в НГСВ за 10 минут и в летний и в зимний период будет выделяться вся «свободная» вода, которая отделяется из эмульсии без воздействия деэмульгатора при длительном отстое (несколько суток). Оставшаяся вода выделится в отстойниках при температуре 50°С и времени отстоя 35 - 60 минут до остаточного содержания менее 5 %.

Данные табл.2 позволяют сделать вывод, что увеличивать время нахождения эмульсии в НГСВ более 10 минут не целесообразно, т.к. далее динамика выделения воды резко замедляется.

Из испытанных реагентов несколько лучшей динамикой отделения воды в НГСВ и глубиной обезвоживания при температуре 50°С обладает деэмульгатор ФЛЭК-Д-007 (табл.2), что указывает на возможность дополнительного снижения расхода реагента.

Итогом проведенных исследований стало установление наиболее оптимальных параметров работы УПСВ «Пашня». В частности, при подаче деэмульгатора на гребенку УПСВ:

– расход деэмульгатора составит 50-65 г/т;
– технологическое время нахождения эмульсии в НГСВ - 10 мин.;
– остаточная обводненность на выходе с НГСВ будет находится в пределах в летний период 40-50 %, в зимний период – 45-55 %;
– температура нагрева эмульсии: 50°С;
– время отстоя при обезвоживании - 35 мин.;
– остаточная обводненность менее 5 %.

При подаче деэмульгатора в систему сбора и при обеспечении времени контакта - 30 мин.:

– расход деэмульгатора - 30 г/т;
– при тех же параметрах работы УПСВ остаточная обводненность на выходе НГСВ снизится до 20-30 %;
– другие параметры сохранятся.

Наряду с базовым СНПХ 4315Д4 может быть рекомендован к применению деэмульгатор ФЛЭК-Д-007, показавший возможность дополнительного снижения расхода вводимого реагента.

Список литературы

1. *Тронов В.П.* Системы нефтегазосбора и гидродинамика основных технологических процессов. – Казань: ФЭН, 2002. – 512 с.

Таблица 1- Эффективность деэмульгаторов на искусственной эмульсии Пашнинского месторождения (Обводненность эмульсии - 75 %, Ау - 98,4 %. Моделирование отстоя воды в НГСВ при температурах 20°С и 30 °С, расход реагента 30 г/т.)

Реагент	Динамика отстоя воды, мл			Качество нефтяной фазы (верх), об. %			Динамика отстоя воды, мл				Качество нефтяной фазы, общее, об. %		
	10 мин	20 мин	30 мин	Wхол	Пром. слой.	Wост	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	Wхол	Пром. слой.	Wост
	Температура 20˚С						Температура 50ºС						
СНПХ-4315Д4	12	26	30	52	4	56	22	52	60	65	2,0	0,8	2,8
ФЛЭК-Д-018	18	28	32	54	2	56	30	54	60	66	2,6	0,6	3,2
ФЛЭК-Д-007	20	30	35	48	2	50	53	67	67	67	2,0	0,8	2,8
Без реагента	0	0	0	20	40	60	0	0	0	0	54,0	12,0	66,0
	Температура 30˚С						Температура 50ºС						
СНПХ-4315Д4	15	27	32	48	2	50	45	60	63	63	1,4	1,6	3,0
ФЛЭК-Д-018	20	35	38	44	2	46	41	43	43	43	1,8	1,2	3,0
ФЛЭК-Д-007	40	50	53	26	4	30	23	25	26	26	2,2	1,2	3,4
Без реагента	0	0	0	20	40	60	0	0	0	0	40,0	14,0	54

Таблица 2- Эффективность деэмульгаторов на искусственной эмульсии Пашнинского месторождения в зависимости от времени контакта в системе сбора. Обводненность эмульсии - 70%, Ау - 96 %. Расход реагента 30 г/т.

Реагент	Температура 20˚С						Температура 50ºС						
	Время переме-шивания, мин	Динамика отстоя воды, мл,		Качество нефтяной фазы (верх), об. %			Динамика отстоя воды, мл				Качество нефтяной фазы, общее, об. %		
		10 мин	20 мин	Wхол	Пром. слой.	Wост	10 мин	20 мин	30 мин	60 мин	Wхол	Пром. слой	Wост.
СНПХ-4315Д4	15	13	20	48	0	48	30	35	45	46	2,0	0,2	2,2
	30	42	46	40	0	40	20	20	24	24	1,6	0,2	1,8
	45	60	60	18	1	19	8	8	9	10	1,2	0,4	1,6
ФЛЭК-Д-018	15	0	20	40	0	40	25	30	30	30	1,6	0,4	2,0
	30	50	51	36	0	36	10	12	15	17	1,2	0,4	1,6
	45	51	54	32	0	32	8	10	16	16	1,2	0,4	1,6
ФЛЭК-Д-007	15	25	37	42	2	44	20	25	28	32	1,6	0,2	1,8
	30	54	55	32	0	32	10	10	14	15	0,7	0,3	1,0
	45	61	63	19	0	19	5	9	10	10	0,8	0,4	1,2
Без реагента	30	0	0	60	0	60	0	0	0	0	60,0	2,0	62,0
	45	0	0	58	0	58	0	0	0	0	56,0	4,0	60,0

05.17.01

С.В. Лановецкий к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, lsv98@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ ОТ ПРИМЕСЕЙ

Проведены исследования по очистке технического раствора нитрата магния от сопутствующих примесей SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}. Определены оптимальные условия проведения процесса, позволяющие получить очищенный раствор пригодный для использования в производстве кристаллического продукта реактивной чистоты.

Ключевые слова: *раствор нитрата магния, примеси, сульфаты, хлориды, кальций.*

Нитрат магния реактивной квалификации по международному стандарту США [1] «ASC reagent [13446-18-9]» должен содержать не менее 99% основного вещества и малое количество примесей (%): тяжелых металлов$<5\cdot10^{-4}$; нерастворимого остатка<0,005; Ba<0,005; Ca<0,01; Sr<0,005; Fe$<5\cdot10^{-4}$; Mn$<5\cdot10^{-6}$; K<0,005; Na<0,005; NH_4 <0,003; SO_4 < 0,005; Cl<0,001, PO_4 $<5\cdot10^{-4}$.

Анализ современного состояния производства и качества $Mg(NO_3)_2\cdot6H_2O$ показал, что выпускаемый химической промышленностью РФ продукт не обладает той чистотой, которая требуется для реактивов. Существующие технологические решения не обеспечивают получение нитрата магния высокого качества и требуют дальнейшего совершенствования. Основными поставщиками в РФ нитрата магния реактивной квалификации на сегодняшний день являются страны Западной Европы (ФРГ, Франция, Италия) и США, которые добились определенного прогресса в получении высокочистого соединения $Mg(NO_3)_2\cdot6H_2O$ [2].

Целью представленной работы явилось исследование процесса очистки технического раствора нитрата магния получаемого на ОАО «АЗОТ» (г. Березники) от сопутствующих примесей SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}.

В качестве объекта исследования использовали промышленный раствор нитрата магния ОАО «АЗОТ» (г. Березники), получаемый азотнокислым разложением магнезита Саткинского месторождения. По данным анализов на атомно-абсорбционном спектрофотометре исходный технический раствор нитрата магния содержал (%): $Mg(NO_3)_2$ – 31,6; сульфаты – 0,158; хлориды – 0,0191; кальций – 0,0925.

Для очистки раствора нитрата магния от сульфат-иона исследовали химическое осаждение ионов SO_4^{2-} нитратом бария при температурах 25°С и 80°С [3]. Процесс осаждения сульфат-ионов из раствора $Mg(NO_3)_2$ в виде $BaSO_4$ осуществляли в стеклянном реакторе при непрерывном перемешивании пропеллерной мешалкой. В перемешиваемый раствор по каплям в течение 1 минуты вводили 5%-ный раствора $Ba(NO_3)_2$, в количестве соответствующем стехиометрическому соотношению Ba^{2+}/SO_4^{2-}. В процессе образования сульфата бария на фотоколориметре КФК через каждую минуту замеряли коэффициент светопропускания суспензии.

Очистку раствора нитрата магния от хлорид-ионов осуществляли путем введения в раствор дисперсной металлической меди и раствора $Cu(NO_3)_2$ при pH=2,5 – 3,5 [4] в температурном интервале 30-90°С. Очистку растворов от избытка ионов меди осуществляли при помощи сероводорода и оксида магния.

Выделение ионов кальция из технического раствора нитрата магния осуществляли путем карбонизации раствора и введением раствора серной кислоты.

Анализ катионов присутствующих в растворе выполняли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Optima 3100 фирмы Perkin Elmer. Анионы анализировали методом химического анализа по ГОСТ 8269.1-97.

Анализ процесса очистки раствора от сульфат-ионов представлен на рис. 1. Из рисунка видно, что время синтеза $BaSO_4$ при температуре процесса 25°С составляет порядка 40 мин, а при температуре 80°С всего 5 мин, после чего наблюдается стабилизация показаний степени образования $BaSO_4$.

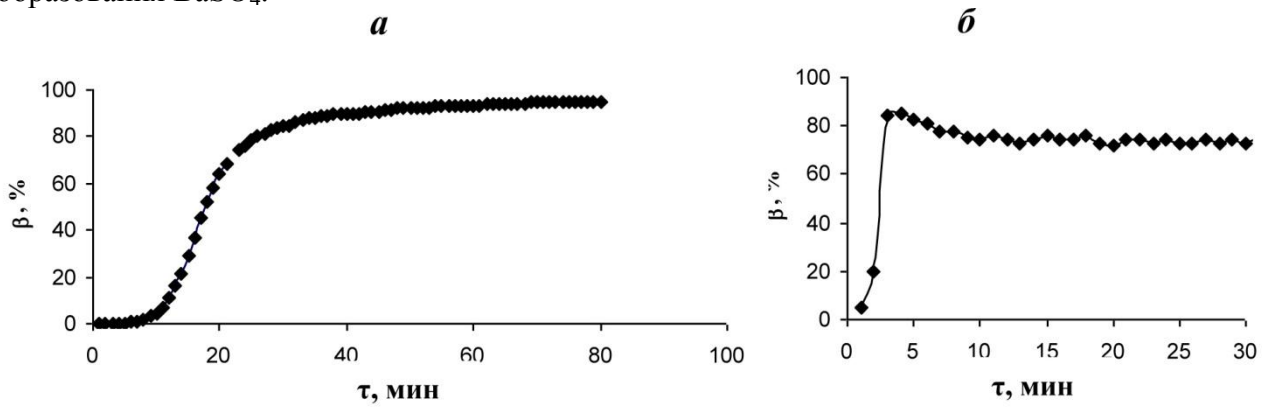


Рис. 1. Изменение степени образования $BaSO_4$ в зависимости от длительности протекания процесса:*а* – *t*= 25°С; *б* – *t*= 80°С

Остаточная концентрация сульфат-ионов в очищенном растворе нитрата магния составила 25,52 мг/дм^3. Тем самым концентрация сульфат-ионов была снижена почти в 79 раз. При увеличении времени проведения процесса осаждения сульфат-ионов нитратом бария до 3,5 ч. концентрация сульфат-ионов составила менее 5 мг/дм^3.

Процесс синтеза сульфата бария в техническом растворе нитрата магния удовлетворительно описывается уравнением:

$$\beta=K\cdot(1-\exp(a\cdot\tau^b), \quad (1)$$

где β – степень образования сульфата бария, *K* – максимальная степень превращения, *a, b* – эмпирические константы зависящие от температуры синтеза (табл. 1)

Таблица 1 – Эмпирические константы для уравнения (1)

Константы	*t*= 25°С	*t*= 80°С
a	0,0001	0,1024
b	2,9999	4,4781

Скорость образования сульфата бария в растворе нитрата магния при температуре 80°С почти в 11 раз превышает скорость образования $BaSO_4$ в растворе при температуре 25°С. При обессульфачивании технического раствора нитрата магния большое значение имеет не только скорость процесса образования сульфата бария, но и скорость осаждения частиц $BaSO_4$. В связи с этим были проведены эксперименты по изучению скорости процесса седиментации частиц сульфата бария.

Суть экспериментов заключалась в следующем: осадок сульфата бария, образованный в результате «холодного» (*t* = 25°С) и «горячего» (t = 80°С) синтеза, взмучивали в растворе и оценивали изменение коэффициента светопропускания во времени. Результаты исследований представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что процесс полного осаждения при температуре 25 °С достигается за 60 минут, а при температуре 80 °С за 10 минут.

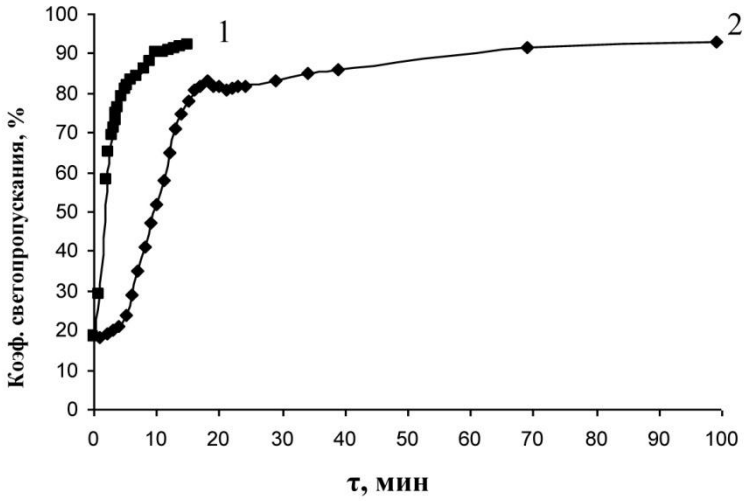


Рис. 2. Зависимость коэффициента светопропускания от длительности седиментации сульфата бария: 1 – при *t* = 80 °С; 2 – при *t* = 25 °С

Скорость седиментации сульфата бария в растворе нитрата магния при температуре 80°С почти в 5 раз превышает скорость седиментации BaSO4 в холодном растворе при температуре 25°С. Это свидетельствует о том, что при более высокой температуре синтезируются более крупные частицы осадка, которые быстрее осаждаются.

Таким образом, очистка раствора нитрата магния от сульфат-ионов путем осаждения нитратом бария протекает наиболее эффективно при высоких температурах (80°С), перемешивании раствора и времени процесса не менее 5 минут. Результаты анализа раствора, очищенного от сульфатов показывают, что данный метод обеспечивает снижение концентрации сульфат-ионов почти в 80 раз до остаточной концентрации 25,52 мг/дм^3, что соответствует условиям получения чистого нитрата магния.

Очистку технического раствора нитрата магния от ионов хлора проводили согласно уравнению реакции:

$$Cu(NO_3)_2 + Cu + 2Cl^- = 2CuCl\downarrow + (NO_3)^-.$$

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты исследований процесса очистки технического раствора нитрата магния от хлорид-ионов

№ опыта	pH	*t*, °С	τ, мин	Стехиометрическое соотношение Cu^{2+} к Cl^-	Стехиометрическое соотношение Cu (мет. порошок) к Cl^-	Вид меди	Степень очистки от Cl^-,%
1	2,6	60	30	2:1	2:1	стружка	0
2	2,0	60	60	3:1	3:1	стружка	0
3	3,0	60	90	4:1	4:1	стружка	0
4	3,0	60	30	2:1	2:1	свежеосажденная	62,50
5	2,6	30	60	4:1	4:1	свежеосажденная	68,43
6	2,6	60	60	4:1	4:1	свежеосажденная	87,49
7	2,5	90	90	6:1	6:1	свежеосажденная	87,50
8	2,5	60	60	3:1	3:1	после хранения	25,00
9	2,5	60	60	4:1	4:1	после хранения	32,12
10	2,4	90	60	5:1	5:1	после хранения	37,49

В опытах № 1-3 использовали опилки металлической меди. В опытах № 4-10 использовали порошок металлической меди, полученный путем химического восстановления сульфата меди металлическим цинком. При этом использовали как свежеосажденную медь, так и выдержанную под водой в течение 1 месяца.

Удовлетворительные результаты по очистке раствора нитрата магния от хлоридов получены при использовании свежеосажденной меди (опыт №4-7). Степень очистки раствора в опытах № 6-7 превысила 87%.

Установлено, что для удовлетворительной очистки технического раствора нитрата магния от хлоридов необходимы следующие условия: использовать только свежеосажденную медь и вносить её с 4-кратным избытком от стехиометрии; соль нитрата меди необходимо вводить с 4-кратным избытком от стехиометрии; поддерживать температуру процесса не ниже 60°C; процесс проводить при перемешивании в течении 1 – 1,5 ч.

При очистке раствора нитрата магния от ионов хлора в растворе формируется избыток ионов меди. Для снижения концентрации ионов Cu^{2+} до допустимых пределов проведены исследования по их осаждения в виде сульфидов газообразным сероводородом. Результаты анализа раствора после очистки показали значительное снижение концентрации ионов меди до 0,18 мг/дм^3. Следует, однако, отметить, что сероводород является ядовитым веществом, и процесс очистки с использованием H_2S существенно усложняет технологию получения чистых растворов нитрата магния. В связи с этим исследовали процесс удаления ионов меди за счет изменения pH раствора до 6-6,5 путем введения оксида магния. Кроме того, оксид магния является неорганическим коллектором, сорбирующим примесные ионы металлов.

Результаты опытов с добавкой оксида магния показали, что содержание ионов меди в очищенном растворе не превышало 0,20 мг/дм^3. Использование данного способа позволит значительно упростить технологию получения чистых растворов и исключить использование агрессивных соединений.

В техническом растворе нитрата магния содержание иона кальция составляет 0,0925 %. Допустимое содержание иона кальция в чистом кристаллическом нитрате магния не должно превышать 0,01 %, что в 9,25 раза ниже, чем в исходном растворе. В связи с этим, технология получения нитрата магния высокой чистоты должна предусматривать очистку исходного раствора от ионов кальция.

Для очистки раствора нитрата магния от ионов кальция использовали данные произведения растворимости (ПР) и растворимости соединений кальция и магния [5]: CaF_2 – $4\cdot10^{-11}$; MgF_2 – $6\cdot10^{-9}$; $CaCO_3$ – $4.8\cdot10^{-9}$; $MgCO_3$ – $1\cdot10^{-5}$; $CaSO_4$ – $6.1\cdot10^{-5}$; $MgSO_4$ – растворимость 36 г/100 г H_2O при 20°C, $Ca(OH)_2$ – $3,1\cdot10^{-5}$, $Mg(OH)_2$ – $5\cdot10^{-12}$. Сравнивая значения ПР для соединений кальция и магния, можно заключить, что наибольшая разница в растворимостях у сульфатов, гидроксидов и карбонатов кальция и магния. В насыщенном растворе нитрата магния малорастворимыми соединениями кальция являются сульфат кальция и карбонат кальция. В связи с этим для выделения ионов кальция из технического раствора нитрата магния исследовали способы карбонизации и введения 92% раствора серной кислоты. Условия проведения экспериментов и результаты исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты исследований процесса очистки технического раствора нитрата магния от ионов кальция

№ опыта	Условия проведения процесса	*t*, °C	τ, мин	Степень очистки от Ca^{2+}, %
1	Пропускание через раствор CO_2 (pH=4,4) с добавлением MgO до pH=6,7	45	75	6,60
2	Введение в раствор 92%-ной H_2SO_4 в 2-х кратном избытке от стехиометрии	80	30	53,20
3	Введение в раствор $MgCO_3$ в 1,5 кратном избытке от стехиометрии	60	60	13,00
4	Введение в раствор $MgCO_3$ в 1,5 кратном избытке от стехиометрии	80	60	12,13

Из анализа данных следует, что наилучшие результаты очистки обеспечиваются при осаждении иона кальция серной кислотой. При этом содержание примеси в растворе снижается в 2,13 раза. Пропускание углекислого газа с одновременным введением оксида магния для создания pH или введение карбонат-ионов незначительно снижает содержание кальция.

Недостатком сульфатного способа является то, что при неточной дозировке сульфат-ион может загрязнять продукт, что потребует дополнительной очистки. Сульфатный способ можно рекомендовать только для условий грубой очистки раствора от кальция, соблюдая условия недостатка сульфат-ионов.

Таким образом, проведенные исследования очистки технического раствора нитрата магния показали, что сульфат-ионы целесообразно удалять путем введения в раствор ионов бария. Концентрация хлорид-ионов существенно снижается при введении в раствор металлической меди в среде нитрата меди при pH=2-3. Ионы меди целесообразно удаляются посредством перевода их в сульфиды либо путем соосаждения с оксидом магния. Грубая очистка раствора от ионов кальция возможна путем введения серной кислоты.

Список литературы

1. *Bader A., Harvey D., Nagarkatti J.* Catalog Handbook of the Fine Chemicals. Aldrich. Milwaukee, Wiskonsin, USA, 1990-1991

2. *Факеев А.А.* Состояние и перспективы развития производства нитратов щелочных и щелочно-земельных элементов особой чистоты //Высокочист. вещества. – 1987. – № 4. – С. 26–35.

3. *Лановецкий С.В., Середкина О.Р., Пойлов В.З., Кетов А.А.* Исследование процесса обессульфачивания технического раствора нитрата магния // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2012. – №4. – С. 121-124.

4. Способ очистки раствора нитрата магния: пат. 1675205 СССР: МПК C01F5/38 / *А.Л. Вильдт, Н.Г. Вильдт, А.Б. Скворцов И.Н. Тинякова*. – № 4397578/26; заявл. 08.02.1987; опубл. 07.09.1991.

5. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1965. – 389 с.

05.17.01

С.А. Миронова, О.К. Косвинцев к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kosvintsev@bf.pstu.ru

ВЛИЯНИЕ СТАДИИ РУДОПОДГОТОВКИ НА ПРОЦЕСС ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ РУДЫ

Исследована зависимость содержания хлорида калия, нерастворимого остатка в концентрате и извлечения полезного компонента в готовый продукт при различном способе измельчения руды Верхнекамского месторождения. Показана эффективность сухой рудоподготовки для шламовой и сильвиновой флотации.

Ключевые слова: *хлорид калия, извлечение, водонерастворимый остаток, рудоподготовка, флотация.*

Калийная руда Верхнекамского месторождения перерабатывается в основном флотационным методом в насыщенных солевых растворах. Наибольшая трудность при флотационном обогащении сильвиновых руд связана с необходимостью удаления из них глинисто-карбонатных минералов [1].

Активная сорбция катионного собирателя амина содержащимися в сильвинитовой руде силикатно-карбонатными примесями (шламами) обуславливает недостаточное количество реагента для образования на частицах сильвина сорбционного слоя, необходимого для их закрепления на пузырьке воздуха. Исходя из этого, влияние шламов проявляется в ухудшении флотируемости крупных фракций сильвина (более 0,63 мм), для закрепления которых на пузырьке воздуха требуется более высокая степень сорбционного покрытия поверхности частиц собирателем. Для устранения отрицательного влияния шламов (водонерастворимого остатка) в производстве обогащения применяют механическое и флотационное обесшламливание [2].

В отчете [3] показано, что при сухом дроблении руды водонерастворимый остаток (н.о.) скапливается в наиболее мелких фракциях, достигая максимума в классе менее 0,25 мм. Для руды после процесса мокрого измельчения выход класса менее 0,25 мм наиболее высок. Сравнение с гранулометрическим составом руд при сухом дроблении не совсем корректно, но, тем не менее, можно отметить резкое повышение выхода материала менее 0,25 мм при мокром измельчении в сравнении с сухим дроблением и более высокое извлечение н.о. Поэтому предположили что, при замене способа рудоподготовки, возможно улучшить показатели процесса обогащения.

Для проверки сделанной гипотезы необходимо было произвести сухую рудоподготовку питания флотации, а для снижения влияния мелкодисперсной фракции было предложено произвести удаление фракции размером менее 0,2 мм путем отсева.

Типичная технологическая схема флотационной обогатительной фабрики обычно включает следующие стадии: измельчение руды с целью раскрытия зерен сильвина и галита; предварительное удаление глинистого шлама из руды или его подавление в процессе основной флотации; основная флотация сильвина с перечисткой полученного концентрата; перечистка глинистых шламов; обезвоживание шламов, хвостов, концентратов и возвращение в цикл оборотного насыщенного раствора.

В промышленных условиях измельчение руды производится в стержневых мельницах при определенной плотности с добавлением насыщенного солевого раствора. Исходная сильвинитовая руда, поступающая на переработку, содержит от 3,0 до 4,0 % водонерастворимого остатка.

Особенность водонерастворимого остатка состоит в том, что в сухом виде, он является прочным материалом и поддается измельчению несколько хуже, чем KCl и NaCl. Но в водных средах он набухает и размягчается с диспергированием в жидкую фазу в виде мельчайших частиц размеров менее 0,07 мм. Следовательно, после мокрого измельчения руды в мельнице н.о. будет диспергировать на мельчайшие частицы [4, 5].

После стадии измельчения в стержневых мельницах и гравитационного обесшламливания в центробежных гидроциклонах на шламовую флотацию поступает суспензия, содержащая около 2,5 % нерастворимых примесей. При этом черновой концентрат содержит до 0,5 % н.о. Хвосты сильвиновой флотации содержат от 2,0 % и более н.о.

Следует учитывать то, что из-за отличий в конструкции и объеме лабораторной и промышленной флотационных установок, в лабораторных условиях практически невозможно воспроизвести процесс флотации в промышленных условиях. Тем не менее, сравнение полученных результатов с контрольным режимом может дать оценку возможных последствий предлагаемых изменений. Поэтому первоначально провели серию опытов контрольного режима по стандартной технологии на питании шламовой флотации, полученном измельчением сильвинитовой руды в стержневой мельнице.

Исследования проводили во флотомашине кипящего слоя с объемом камеры 1300 мл.

Навеску питания для каждого опыта рассчитывали по формуле:

$$T_{нав.} = \frac{V_{кам.} \times \rho_{мат.} \times \rho_{сильв.}}{(Ж:T) \times \rho_{сильв.} + \rho_{мат.}}, \quad (1)$$

где $T_{нав.}$- масса навески для опыта, г; $V_{кам.}$ – объём камеры флотационной машинки, л; $\rho_{мат}$ – плотность маточного щёлока, кг/м^3; $\rho_{сильв}$ – плотность сильвина, кг/м^3; Ж:Т – плотность питания флотации.

В опытах в качестве собирателя шламов использовался водный раствор *Ethomeen*. В качестве флокулянта шламов – водный раствор полиакриламида марки *Accoflok*. В качестве собирателя сильвина – эмульсия амин-активатор-вспениватель.

Расход реагентов для каждой серии опытов вычисляли по формуле:

$$V = \frac{q \times Q \times 100 \times t \times \rho}{C \times 3600}, \quad (2)$$

где q – количество реагентов на тонну руды, г/т руды; Q – нагрузка по руде, т/ч; t – время замера расхода реагента, с; ρ – плотность раствора реагента; C – концентрация раствора реагента, %.

Контрольный режим представлял собой следующую комбинацию: шламовая флотация (флотационное обесшламливание) → сильвиновая флотация.

Полученные результаты опытов контрольного режима необходимо было сравнить с результатами опытов сравнительных режимов на питании, приготовленном методом сухого дробления.

В сравнительных режимах воспроизводились процессы механического обесшламливания и сильвиновой флотации.

Сравнительный режим №1: сухое измельчение руды → отсев мелкой фракции → гравитационное обесшламливание (имитация разделения суспензии в центробежных гидроциклонах) → шламовая флотация (флотационное обесшламливание) → сильвиновая флотация.

Сравнительный режим № 2: сухое измельчение руды → отсев мелкой фракции → шламовая флотация → сильвиновая флотация.

Подготовку питания для сравнительных опытов методом сухого дробления (дробление, измельчение, рассев материала) руды производили в лабораторных условиях. Гранулометрический состав был приведён в соответствие с гранулометрическим составом питания шламовой флотации, полученном путем измельчения руды в растворе в стержневых мельницах: +1,0 мм – 6,6 %; +0,63 мм – 20,8 %; +0,4 мм – 21,7 %; +0,2 мм – 23,1 %; +0,1 мм – 14,7 %; -0,1 мм – 13,1 %.

Так как в стандартной навеске питания шламовой флотации согласно анализу гранулометрического состава содержится более 27,0 % мелкой фракции (менее 0,2 мм), то, предположили, что при проведении флотационного обесшламливания в пенный продукт совместно с глинистым шламом переходит большое количество хлорида калия, содержащегося в этой фракции.

В эксперименте предложено провести предварительный отсев мелкой фракции питания. Этим действием предполагалось снизить содержание флотоактивной части н.о. в питании шламовой флотации и уменьшить последующие потери KCl с пенным продуктом, а также снизить содержание н.о. в камерном продукте шламовой флотации. Отсев мелкой фракции проводили на сите с размером ячейки 0,2 мм.

Подготовленное таким образом питание в сравнительном опыте № 1 отправляли в процесс гравитационного обесшламливания.

Задачей гравитационного обесшламливания является отделение тонкоизмельченных частиц от основной массы суспензии. Необходимая и достаточная граница разделения частиц для гидроциклонов составляет 0,2 мм.

Процесс гравитационного обесшламливания в лабораторных условиях моделировали в фарфоровом стакане. В стакан с суспензией опускали лопасти механической мешалки; включали мешалку, отрегулировав частоту вращения вала мешалки так, чтобы твёрдая фаза находилась во взвешенном состоянии. Перемешивали в течение 3 минут. Затем суспензию отстаивали 30 секунд и осторожно сливали жидкую фазу в течение 30-40 секунд.

В сравнительном режиме № 2 исключили стадию гравитационного обесшламливания, где на практике происходят существенные потери полезного компонента из-за недостаточной точности разделения тонкоизмельченных частиц.

Флотацию глинистых шламов и флотацию сильвина из подготовленного питания проводили аналогично контрольному режиму: шламовую флотацию – в течение 90 секунд и сильвиновую флотации – в течение 60 секунд согласно программе эксперимента.

Все продукты опытов (слив гидроциклонов, пенные и камерные продукты шламовой и сильвиновой флотаций контрольного и сравнительных режимов), навеску питания для контрольного режима, навеску питания для сравнительных режимов, полученную сухим дроблением и отсев фракции менее 0,2 мм были подвергнуты химическому анализу по ГОСТ 20851.3-93 на содержание хлорида калия и водонерастворимого остатка. После получения данных химического анализа был выполнен пересчёт массовой доли компонента в сухом веществе на твердую фазу компонента в суспензии.

Отсев мелкой фракции питания на сите с размером щели 0,2 мм показал, что в отсев, как и предполагалось, было выделено от 45% до 48% общего н.о. Содержание н.о. в питании шламовой флотации снизилось с 2,5 % в контрольном режиме до 2,09÷2,31% в сравнительных режимах.

Так же в отсев извлеклось до 20 % KCl, что говорит о том, что мелкая фракция питания шламовой флотации богата на содержание полезного компонента, который при флотационном обесшламливании извлекается совместно с глинистым шламом и составляет существенную часть технологических потерь. Произведя отсев мелкой фракции, мы попытались заранее снизить потери хлорида калия с отходами.

Следует отметить, что контрольный режим показал наихудшие результаты из-за присутствия большого количества пылевидных фракций в питании как шламовой, так и сильвиновой флотаций. Из результатов опытов представленных на рис. 1 видно, что в концентрате готового продукта в сравнительном режиме № 2 удалось достичь увеличения концентрации полезного компонента на 3 % и снижения содержания н.о. на 0,6 % по сравнению с контрольным режимом. Это позволило увеличить степень извлечения полезного компонента в концентрат на 6,87 %.

Таким образом, использование метода сухого измельчения руды позволяет более эффективно на последующих стадиях переработки отделить мелкие фракции руды, снизить

их негативное влияние на процесс флотации и поднять степень извлечения полезного компонента в готовый продукт.

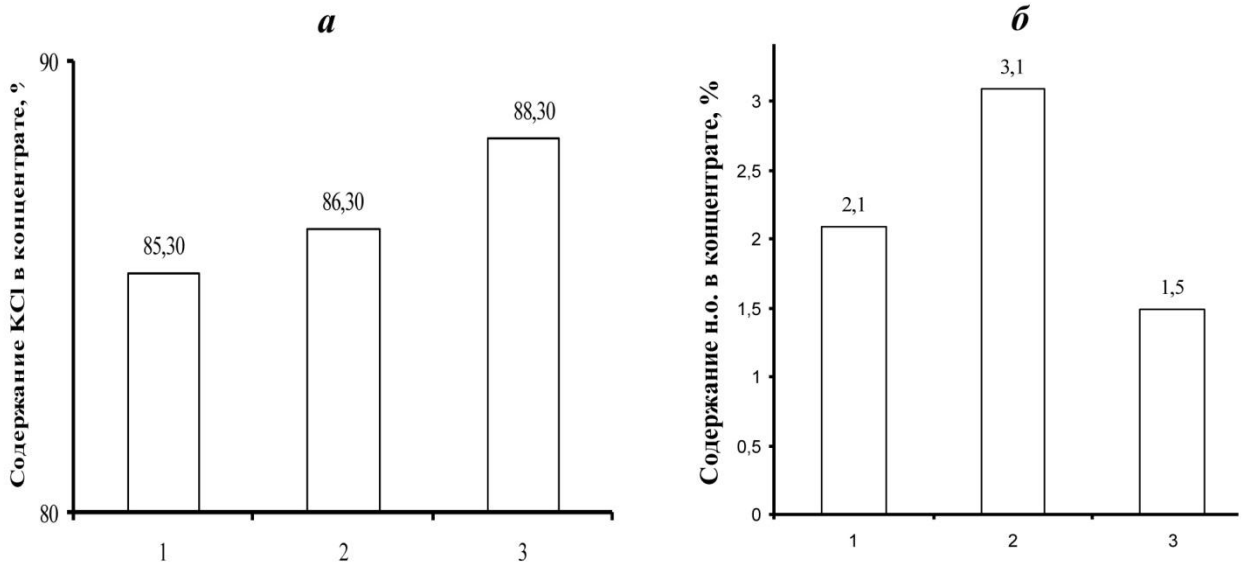


Рис. 1. Содержание KCl (*а*) и нерастворимого остатка (*б*) в концентрате для различных режимов: 1 – контрольный режим; 2 – сравнительный режим №1; 3 –сравнительный режим №2.

Вместе с тем, расход реагентов в цикле шламовой и сильвиновой флотаций различных режимов был величиной не постоянной. В опытах сравнительного режима №1 расход реагентов в циклах шламовой флотации и сильвиновой флотации был аналогичен расходу реагентов в контрольном опыте, но выход концентрата и, соответственно, извлечение хлорида калия в концентрат ниже. В опытах сравнительного режима № 2 при расходе реагентов в цикле сильвиновой флотации аналогично контрольному режиму флотации хлорида калия не последовало. Присутствовала вялая флотация глинистого шлама, что объясняется сорбцией реагента на поверхности активного н.о. Лишь при увеличении в 3 раза расхода реагентов сильвиновая флотация активизировалась, при этом выход концентрата был в 2 раза выше, чем в контрольном опыте.

ВЫВОДЫ

1. Исследована зависимость выхода и извлечения KCl в концентрат при различных методах измельчения руды и подтверждено отрицательное влияние содержания н.о. в суспензии на выход полезного компонента KCl.

2. Использование метода сухого измельчения руды и дальнейший отсев мелкой фракции позволяет более эффективно провести шламовую флотацию, снизить негативное влияние н.о. на процесс сильвиновой флотации и поднять степень извлечения полезного компонента в готовый продукт.

3. Химический анализ отсеянной фракции (менее 0,2 мм) показал высокое содержание н.о. (от 45% до 48%) и KCl (до 20 %), что подтвердило предположение об основном источнике потерь полезного компонента в процессе обогащения руды (потери со шламами).

Список литературы

1. *Богданова О.С., Ненарокомова Ю.Ф.* Справочник по обогащению руд. Обогатительные фабрики. – Л.: Недра, 1984. – 360 с.
2. *Абрамов А.А.* Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1984. – 383 с.
3. *Тетерина Н.Н.* Отчет о НИР «Экспериментальные исследования процессов рудоподготовки и рекомендации по верхней границе крупности помола перерабатываемой руды и обеспечению минимизации в ней содержания мелких фракций на БКПРУ-2». – Пермь-Березники, 2000. – 72 с.
4. *Печковский В.В.* Технология калийных удобрений. Минск: Вышейшая школа, 1977. – 303 с.
5. *Кашкаров О.Д.* Технология калийных удобрений. – Л.: Химия, 1978. – 247 с.

05.23.07

О.С. Мисников д.т.н., О.В. Пухова к.т.н., С.С. Цымлякова

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»,
кафедра геотехнологии и торфяного производства»,
Тверь, owpuhova@mail.ru

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ОСУШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотрены гидротехнические мероприятия и элементы осушительной сети торфяного месторождения. На основании исследования передвижения влаги торфяной залежи, распределения значений потенциала влаги разработаны мероприятиям по улучшения осушения производственных площадей при разработке торфяного месторождения

Ключевые слова: *торф, осушительная сеть, потенциал влаги, влажность, осушение.*

Природные условия и их изменение при техногенных воздействиях на месторождение необходимо учитывать при проектировании и работе торфодобывающих предприятий. При определении возможных направлений использования торфяных ресурсов одной из основных задач является полнота охвата структуры использования торфяного фонда [3].

Цель работы – разработка комплекса мер по улучшению системы осушения торфяного месторождения, подвергшемуся ранее техногенному воздействию. Гидротехнические мероприятия по осушению торфяной залежи выполняются при подготовке торфяного месторождения к добыче торфа (рис. 1) и ремонте производственных площадей. Необходимо проводить осушение с наименьшим отрицательным влиянием на окружающую природную среду и в первую очередь на режим водных объектов (рек, озер).

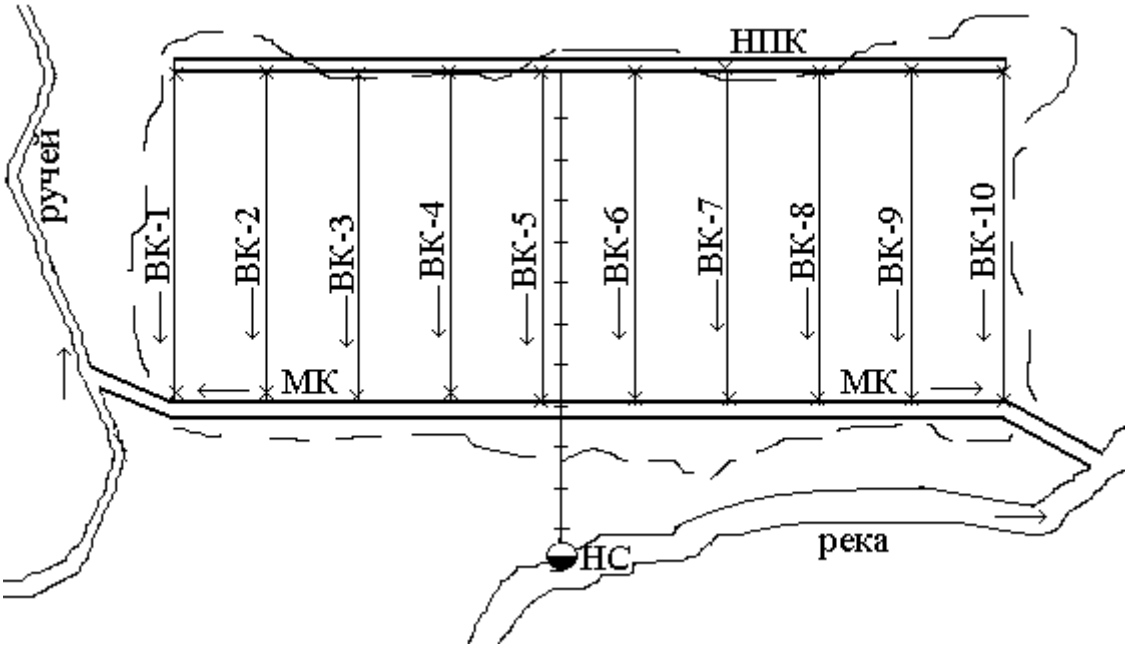


Рис. 1 – План осушения торфяного месторождения «Куровское»

Открытой осушительной сетью [1] осуществляется сброс избыточных запасов воды из торфяной залежи и максимально ограничивается поступление на территорию торфяного месторождения «Куровское» (Тверская область) поверхностных и грунтовых вод с прилегающей территории.

Понижение уровня грунтовых вод и тем самым уменьшение влажности торфяной залежи достигаются с помощью системы открытых каналов в совокупности с закрытыми дренами. Открытые каналы и дрены прорываются по специально разработанным схемам [2]. Система открытых каналов на торфяном месторождении «Куровское» состоит из каналов, отводящих воду в водоприемники (магистрального (МК), десяти валовых (ВК)) и регулирующих поверхностный сток и уровень грунтовых вод (осушителей) – картовых каналов (проложенными перпендикулярно валовым каналам), закрытых дрен (отводят воду из картовых каналов в валовые), нагорно-пожарного канала (НПК). При впадении ВК в МК и НПК для регулирования уровня воды в каналах предусматриваются шлюзы и мосты-переезды.

На осушительной сети сооружаются защитные валы, насосные станции, мосты и переезды. Для тушения пожаров в начальной стадии на полях добычи создается запас воды в валовом канале, глубина которого увеличивается на 0,5 м. Этот запас воды должен обеспечить работу насосов в течение времени добегания воды от водоисточника.

В результате осушения торфяной залежи уменьшается средняя влажность торфяной залежи до эксплуатационного значения, понижается уровень грунтовых вод; уплотняется торфяная залежь, повышается выход воздушно-сухого торфа и создадутся условия для прохождения различных типов торфяных машин. В том числе и машин по подготовке площадей, производству и транспортированию торфа, а также для более полной выработки промышленных запасов.

Количественной оценкой содержания влаги является влажность, а для количественной оценки интенсивности связи влаги – степень осушенности, выраженную потенциалом влаги (рис. 2).

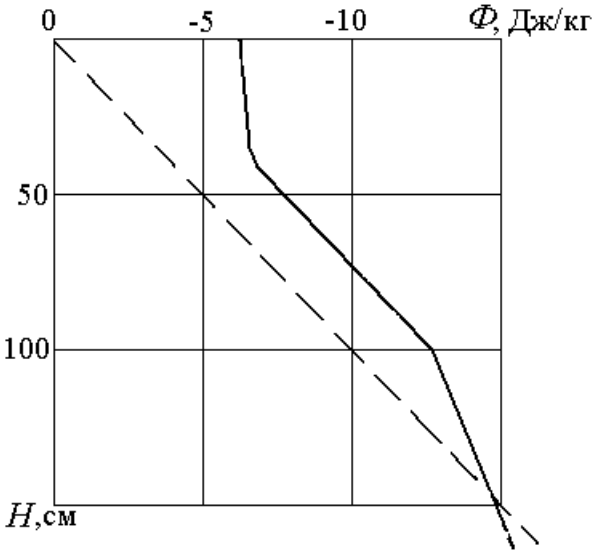


Рис. 2 – Распределение полных потенциалов по глубине залежи

Положение уровня грунтовых вод непосредственно определяется свойствами залежи и граничными условиями: скоростью поступающей инфильтрационной влаги, конструкцией и расположением осушителей, гидрогеологическими условиями.

Снижение уровня грунтовых вод, вызванное действием осушителей, непосредственно влияет на вышележащую зону, обеспечивая в ней необходимый водно-воздушный режим.

Движение влаги в зоне ниже уровня грунтовых вод в первом приближении можно рассматривать как установившийся стационарный поток. Важной отличительной особенностью зоны, расположенной ниже уровня грунтовых вод, является способность любой полости пропускать воду с незначительным сопротивлением. Если практически трудно увеличить эффективную проводимость торфяной залежи, то теоретически этого можно достигнуть устройством достаточно частого дренажа с целью оперативного

управления положением уровня грунтовых вод. Аналогичный эффект можно получить, созданием способов, обеспечивающих влагопроводящую структуру торфяной залежи.

Более существенным для практических целей является водно-воздушный режим в зоне выше уровня грунтовых вод, где торф обычно является трехфазной системой. К этой зоне (аэрируемой) можно также отнести случаи, где не существует действительного уровня грунтовых вод и отсутствует свободная грунтовая вода. Эта зона имеет непосредственное взаимодействие с опорными поверхностями торфяных машин и может рассматриваться как часть технологического процесса. В этой зоне обычно расположен корнеобитаемый слой.

В отличие от зоны, расположенной ниже уровня грунтовых вод, в аэрируемой зоне любые достаточно крупные пустоты не оказывают положительного действия на влагопроводность торфа, так как они обычно заполнены воздухом и не способствуют перемещению влаги. Поэтому применение как вертикального, так и горизонтального, дренажа в зоне выше уровня грунтовых вод не в состоянии улучшить водный режим торфа. Однако дренирование в этой зоне в сочетании со специально созданной рыхлой структурой торфа делает возможным интенсивное аэрирование всего слоя и увеличение скоростей процессов газообмена.

Степень осушенности рассматриваемого слоя залежи, выраженная потенциалом влаги, так же как и влажность, изменяется во времени под действием осушительной системы, метеорологических условий и свойств залежи (рис. 3).

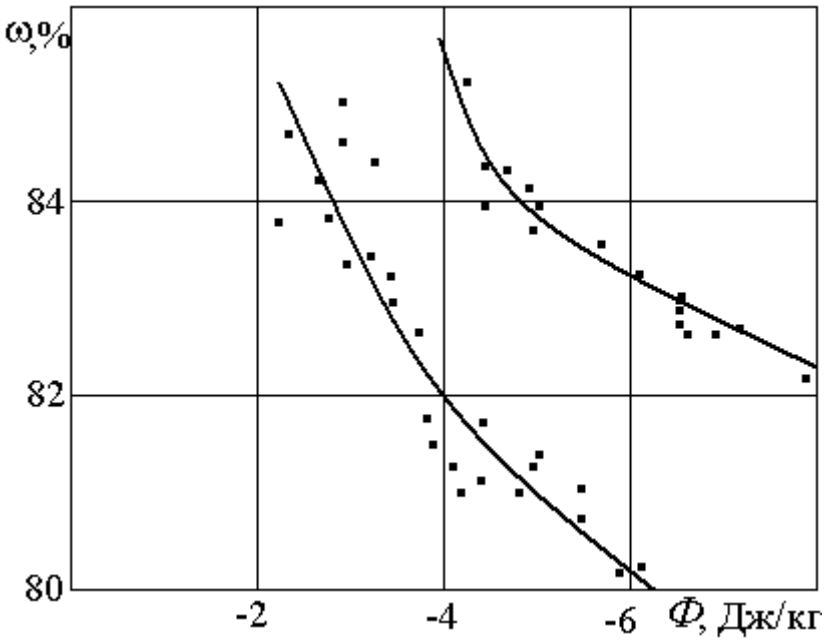


Рис. 3 – Зависимость влажности фрезеруемого слоя потенциала для верхового торфа степенью разложения 15 – 20 % на различных картах

Снижение плотности потока влаги, движущейся через торфяную залежь к уровню грунтовых вод и осушителям, может быть достигнуто путем увеличения поверхностного стока и испарения влаги с поверхности торфяной залежи (или из верхнего слоя за счет испарения воды растениями).

Влажность можно изменять при постоянном потенциале влаги, используя необратимые свойства торфа. Поэтому для улучшения осушения торфяной залежи для добычи торфа фрезерным способом на торфяном месторождении «Куровское» Тверской области необходимо:

временное переосушение залежи;

профилирование поверхности карт с целью создания ровной поверхности с уклоном в сторону осушительных каналов;

создание невлагопроводного верхнего слоя торфяной залежи интенсивной механической переработкой этого слоя с последующим укатыванием поверхности;

увеличение испарения с поверхности торфяной залежи, так как при добыче торфа фрезерным способом сушимый слой торфа в известной степени является влагоизолятором, задерживающим проникновение в нижележащие слои залежи солнечной и рассеянной радиации.

Таким образом, проведенный анализ на основе изучения механизма и природы взаимодействия различных факторов, участвующих в формировании водного режима осушения, позволяет создать оптимальные условия для разработки ранее эксплуатируемых торфяных месторождений, обладающих промышленными запасами торфяного сырья.

Список литературы

1. Изучение водного режима осушенных торфяных залежей. : Труды ВНИИТП, 1960, вып. 17, – М. – Л.: Госэнергоиздат. – 102 с.
2. *Кутаис Л.И.* Курс гидротехники в торфяном производстве. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 400 с.
3. *Мисников О.С., Тимофеев А.Е.* О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений. – Горный журнал, 2008. – № 11. – с. 59 - 63.

05.07.05

[1]Н.В. Митрохов, [2]С. Грисхаммер

[1]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), aerospace@mai.ru

[2]Мюнхенский университет, stefan.griesshammer@mytum.de

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ В КАНАЛЕ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОТОЧНЫХ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается применение современного программного комплекса ANSYS для численного расчета газодинамических течений. Представлены результаты численного моделирования трехмерного турбулентного течения в начальной части камеры сгорания ПВРД и сравнение их с экспериментальными данными. Рассмотрен вопрос проверки адекватности моделирования в хорошо контролируемых лабораторных условиях.

Ключевые слова: *ANSYS, численное моделирование, адекватность моделирования, ПВРД.*

Численное моделирование трехмерного течения в камерах сгорания прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД) становится необходимым элементом проектирования на этапе поверочных расчетов. Вопрос об адекватности моделирования решается сопоставлением результатов тестовых расчетов с детальными экспериментальными данными о структуре течения, полученными на крупномасштабных моделях в хорошо контролируемых лабораторных условиях.

Применение для численного расчета газодинамических течений современных программных комплексов, таких как AnsysCFX, FLUENT позволяет в ряде случаев отказаться от дорогостоящих натурных испытаний камер сгорания ПВРД.

Основные трудности на пути к численному предсказанию течения связаны со сложностью явлений и многообразием факторов, формирующих пространственное турбулентное течение в геометрически сложных каналах.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования трехмерного турбулентного течения в начальной части камеры сгорания ПВРД и сравнение их с экспериментальными данными.

На Рис. 1 показана схема экспериментальной установки для проведения экспериментов с камерами сгорания ПВРД. Установка состоит из огневого подогревателя, сопла, диффузора, модельной камеры сгорания и представляет собой классический стенд для испытания камер сгорания с присоединенным трубопроводом.

Численное моделирование трехмерного течения было выполнено в программе AnsysCFX для режима «холодной продувки», без подачи топлива в камеру сгорания. Для уменьшения количества ячеек сетки проводился расчет половины сечения канала с использованием вертикальной плоскости симметрии. Использованные в расчетах сетки имели размерность от приблизительно 700 000 до 2 000 000 ячеек. Размер ячеек около стенки составлял 0.02мм, что позволяет учитывать в расчете пограничный слой. Расчет проводился при температуре потока 1000К, что соответствует полету на высоте 26500м с числом Маха 4.3 [1,2]. Приведенная скорость в камере сгорания λ=0.18. Примененная модель турбулентности – κ-ε.

Для достижения независимости результатов расчета от размеров сетки первоначальный расчет проводится на более грубой сетке. Далее шаг за шагом необходимо уменьшать размеры ячеек сетки до тех пор, пока результаты расчета не перестанут меняться при дальнейшем уменьшении ячеек. Такой подход позволяет значительно сократить время расчета на начальном этапе и получить хорошую точность в финале [3].

На Рис. 2 показано горизонтальное сечение канала части сопла и диффузора с проходящими через него линиями токов. По цвету линий можно определить скорость и направление движения газа на каждой линии. По цвету и конфигурации линий токов можно видеть зону обратных токов, возникающую сразу за диском Маха при выходе газа из сопла и располагающуюся вдоль боковых стенок канала.

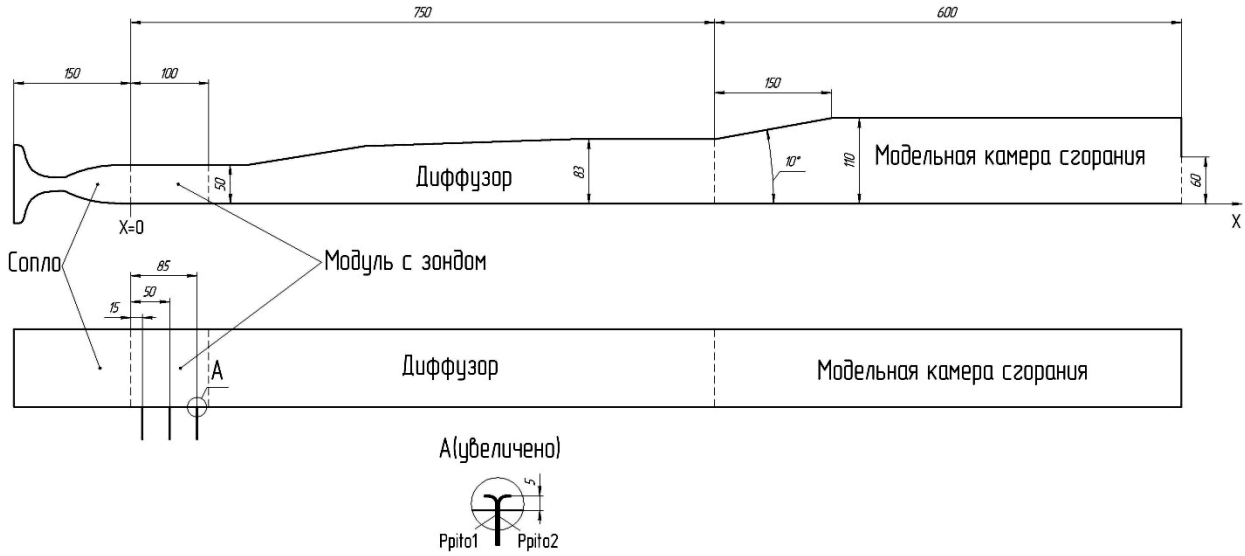


Рис. 1– Схема экспериментальной установки

Для подтверждения наличия зоны обратных токов на практике между соплом и диффузором подогревателя был установлен специальный модуль, представляющий собой канал прямоугольного сечения с отверстиями для замера статического давления. Длина модуля составляет 100мм. Такая конструкция позволяет провести замеры давления на расстоянии от 15 до 85мм от среза сопла. Также для фиксации наличия зоны обратных токов был изготовлен специальный зонд, схема которого представлена на Рис. 3.

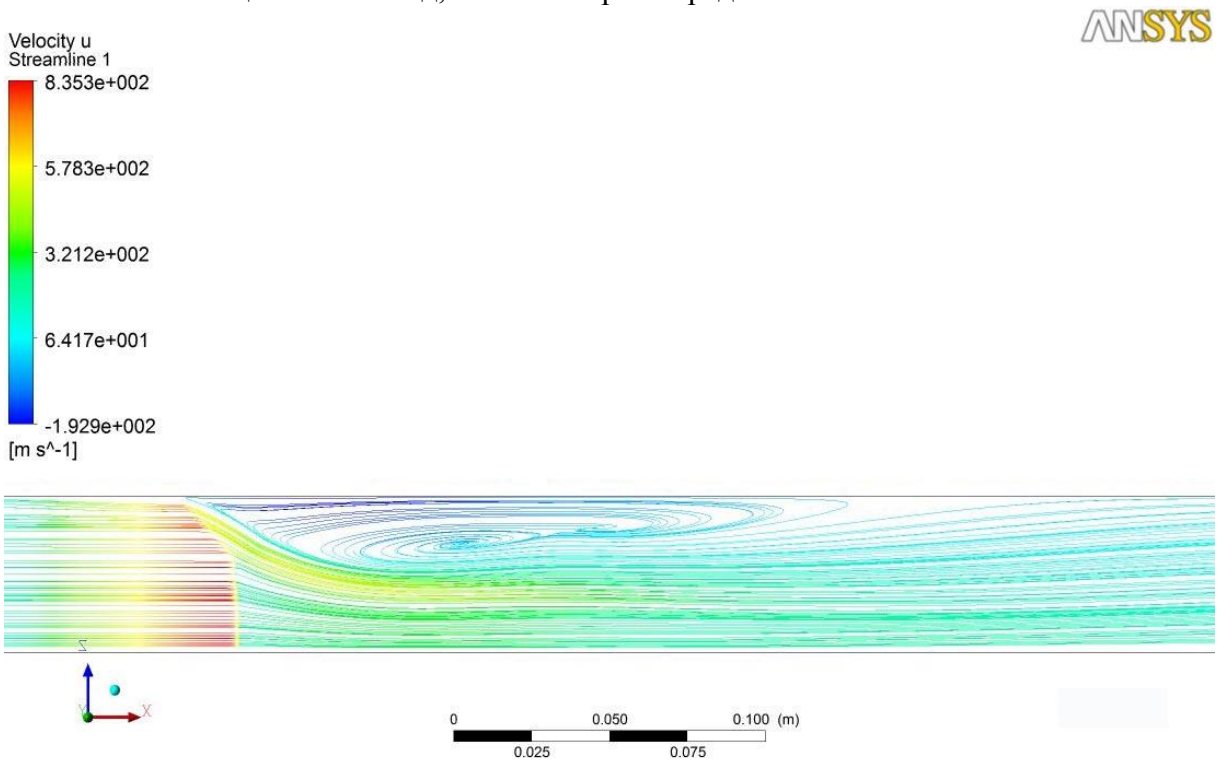


Рис. 2– Зона обратных токов, возникающая за диском маха

Данный зонд представляет собой объединение двух трубок пито в единую конструкцию, так что одна трубка измеряет полное давление по потоку (Ppito2), а другая против потока (Ppito1). По разнице измеренных полных давлений можно надежно фиксировать наличие или отсутствие зоны обратных токов в точке замера. Например, если давление Ppito1 больше чем Ppito2, то газ в месте замера течет в ту же сторону что и в основном потоке, а значит, течение происходит без образования зоны обратных токов. Если же наоборот Ppito2 больше чем Ppito1, то в месте замера газ двигается в противоположную сторону по сравнению с основным потоком, что однозначно свидетельствует о наличии зоны обратных токов.

Для проверки адекватности численного расчета на базе экспериментального стенда факультета двигателей летательных аппаратов Московского авиационного института была проведена серия из трех экспериментов с различным расположением зонда. Подогрев потока осуществлялся с помощью огневого подогревателя, топливом для которого служит авиационный керосин. Результаты одного из них приведены на Рис. 4.

По показаниям замеров Ppito1 и Ppito2 видно перестроение течения при выходе сопла на расчетный режим работы. Такая картина течения наблюдалась во всех трех положениях зонда 15, 50 и 85мм от среза сопла. Таким образом, проведенные эксперименты однозначно подтверждают наличие зоны обратных токов показанной в результате численного расчета течения.

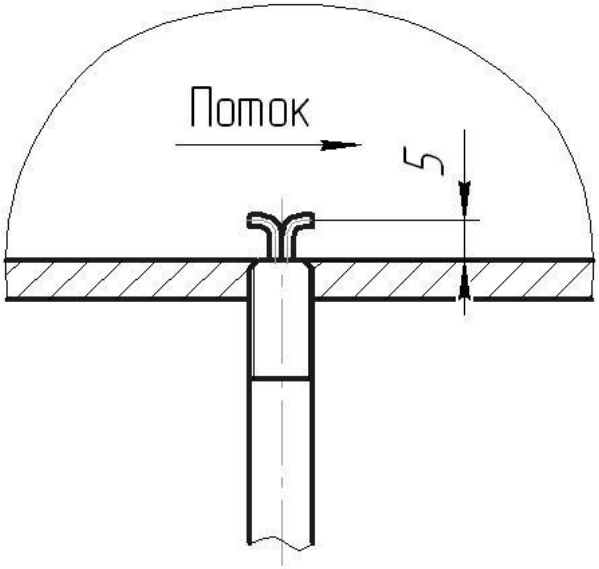


Рис. 3– Схема зонда для фиксации зоны обратных токов

Сравнение с экспериментом показало, что расчет позволяет удовлетворительно предсказать структуру течения в канале экспериментального стенда. Измеренная приведенная скорость в камере сгорания составила 0.19.

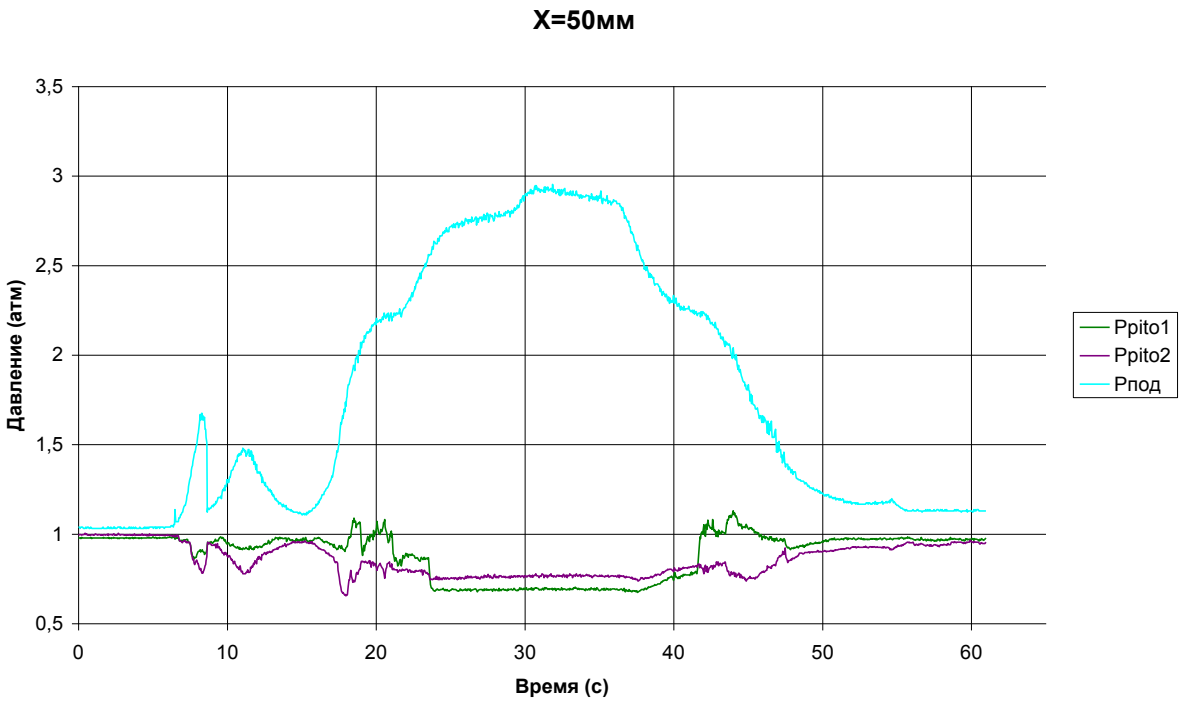


Рис. 4– Распределение давлений в контрольных точках в течение эксперимента (Рпод – давление перед соплом, Ppito1 и Ppito2 – давления, измеренные с помощью зонда)

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Численный расчет наглядно показывает картину течения внутри по тракту стенда;
2. Результаты численного расчета качественно подтверждаются проведенными экспериментами.

Список литературы

1. Газодинамический расчет прямоточных ВРД и их характеристик: Учебное пособие / С.И. Барановский, Ю.В. Зикеева, В.В. Козляков, А.А. Степчков, А.Г. Тихонов – Изд-во МАИ, 1988.
2. *Зуев В.С.* Теория прямоточных и ракетно-прямоточных двигателей / В.С. Зуев, В.С. Макарон – Машиностроение, 1971.
3. *Басов К.А.* ANSYS. Справочник пользователя. -2-е изд. – ДМК-пресс, 2011.

05.23.17

Ж.Г. Могилюк к.т.н., М.С. Хлыстунов к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

АКУСТИЧЕСКИЕ ИМПЕДАНСЫ СТЕРЖНЕЙ В МНОГОЗВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В статье на базе эквивалентных электрических схем исследуются закономерности распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных стержневых конструкциях в зависимости от удельного акустического импеданса материала стержней.

Ключевые слова: *стержневые конструкции, динамические нагрузки, удельный акустический импеданс, эквивалентные электрические схемы, акустическая энергия, распределение, закономерности*.

До настоящего времени при строительном проектировании динамические задачи решалась, например, путем введения в квазистатическую конечно-элементную модель динамических коэффициентов и/или решения задачи методом мгновенного статического приближения.

Однако такой подход, не учитывающий волновой характер распространения динамических перемещений и напряжений в элементах конструкции, не более чем формально решал проблему динамического моделирования. Это, в первую очередь, связано с существенно более широким набором требований к соблюдению корректности и адекватности динамических моделей реальным динамическим процессам, например, к соблюдению законов сохранения акустической энергии, импульса и момента импульса, а также к соблюдению акустического аналога закона Ома и Кирхгофа для многозвенных конструкций.

Настоящая статья является одной из серии публикаций авторов по данной тематике инициативных исследований, направленных на формирование полноценного пакета новых знаний и алгоритмов по фундаментальным вопросам метрологической корректности алгоритмизации математических моделей и динамических процессов в строительных конструкциях.

Учитывая характер поставленной задачи, рассмотрим схему реализации закона сохранения акустической энергии для простейших одномерных стержневых конструкций на рис.1.

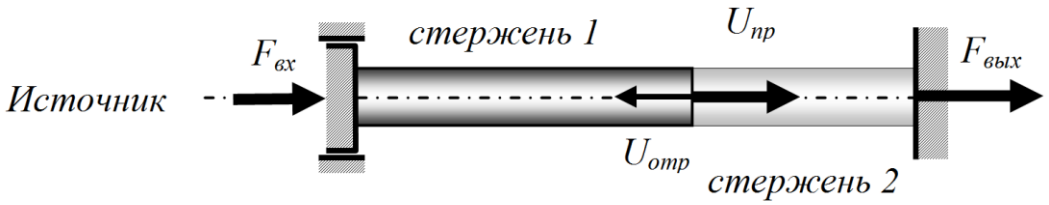


Рис. 1- Схема силового динамического нагружения последовательно соединенных стержней

Согласно схеме силового динамического нагружения стержней вектор силы направлен вдоль главной оси стержней равного сечения, а стержни жестко соединены соосно. Следовательно стержни будут испытывать продольную динамическую деформацию,

сопровождающуюся закачкой в стержневую конструкцию продольной упругой волны, то есть продольной моды акустических колебаний. Тогда удельные акустические импедансы «последовательно» соединенных стержней без учета затухания и резонансных явлений можно рассматривать с точки зрения их акустического сопротивления для продольной волны и вычислять по следующим формулам:

$$z_{p1} = \rho_1 c_{p1} \text{ и } z_{p2} = \rho_2 c_{p2}, \quad (1)$$

где ρ_1, ρ_2, c_{p1}, c_{p2} – соответственно, плотности материалов и скорости продольных упругих волн в первом и втором стержнях.

До настоящего времени при решении задачи распределения динамических усилий и деформаций многозвенных стержневых конструкций (имеются ввиду не относительные деформации ε, а абсолютные, например, x - перемещения концов стержня относительно друг друга) широко применяются электромеханические аналогии [1]. На рис. 2 приведены варианты применения электромеханических аналогий для моделирования распределения усилий и деформаций в стержневой конструкции на рис.1, состоящей из двух, последовательно соединенных стержней. Рассмотрим случай, когда динамическая нагрузка на такую конструкцию подаётся через основание одного из стержней, например, левого.

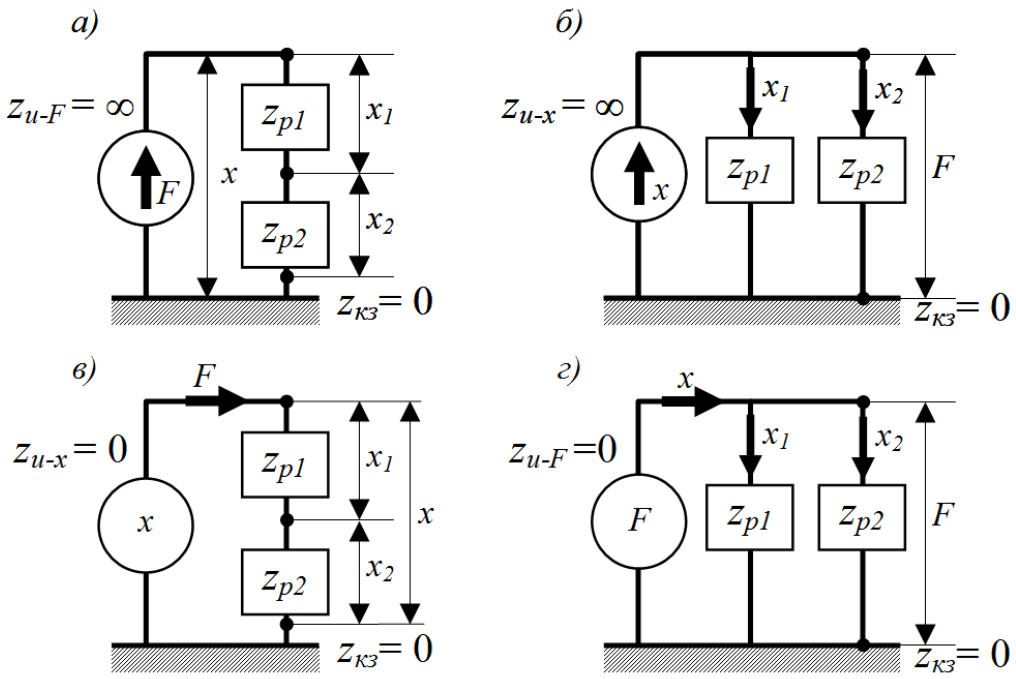


Рис. 2- Дуальные эквивалентные электрические схемы с источниками тока и напряжения для силового динамического нагружения конструкции из двух стержней на рис.1

В схеме на рис.2*а*) усилие F, поступающее на систему стержней (рис.1) представлено в виде источника тока F с бесконечным внутренним импедансом $z_{u\text{-}F} = \infty$, акустические импедансы стержней соединены в последовательную цепочку, а деформации стержней будут эквивалентны создаваемому на них электрическому напряжению. В принципе, данная схема динамического нагружения может быть заменена дуальной, в которой источником тока с бесконечным внутренним импедансом $z_{u\text{-}x} = \infty$ является суммарная деформация стержней, импедансы стержней соединены параллельно, а напряжение на стержнях будет эквивалентно создаваемому на них усилию.

Используя по аналогии с законом Ома соотношения между усилием и деформациями для схемы на рис.2а), получим систему уравнений для вычисления деформации стержней:

$$\begin{cases} x = x_1 + x_2 \\ F = x_1 z_{p1} \\ F = x_2 z_{p2} \end{cases}. \qquad (2)$$

Для дуальной схемы на рис.2б), используя суммарную деформацию стержней в качестве источника тока, для вычисления деформации стержней, как токов в параллельных цепях, получим систему уравнений (3), корни которой равны корням системы уравнений (2):

$$\begin{cases} F = x z_{p1} z_{p2} \big/ \left(z_{p1} + z_{p2} \right) \\ F = x_1 z_{p1} \\ F = x_2 z_{p2} \end{cases}. \qquad (3)$$

В схеме на рис.2*в*) суммарная деформация стержней в результате действия продольного динамического усилия F на систему стержней (рис.1) представлена в виде источника напряжения x с нулевым внутренним импедансом $z_{u\text{-}x} = 0$, акустические импедансы стержней соединены в последовательную цепочку, а деформации стержней будут эквивалентны создаваемому на них током силы F электрическому напряжению.

В принципе данная схема динамического нагружения также может быть заменена дуальной, в которой источником напряжения с нулевым внутренним импедансом $z_{u\text{-}F} = 0$ является сила F, импедансы стержней соединены параллельно, а деформации стержней будут эквивалентны токам, создаваемым на них силой F.

Используя по аналогии с законом Ома для электрических цепей соотношения между усилием и деформациями для схемы на рис.2*в*) с источником напряжения x, получим систему уравнений для вычисления деформации стержней:

$$\begin{cases} F = \dfrac{x}{z_{p1} + z_{p2}} \\ x_1 = F z_{p1} \\ x_2 = F z_{p2} \end{cases}. \qquad (4)$$

Для дуальной схемы на рис.2*г*) с источником напряжения F, получим подобную систему уравнений для вычисления деформации стержней, например, в следующем виде:

$$\begin{cases} x = \dfrac{F\left(z_{p1} + z_{p2} \right)}{z_{p1} z_{p2}} \\ x_1 = \dfrac{F}{z_{p1}} \\ x_2 = \dfrac{F}{z_{p2}} \end{cases}. \qquad (5)$$

Рассмотренный метод электромеханических аналогий обладает необходимой универсальностью с точки зрения моделирования многозвенных стержневых конструкций, что может быть продемонстрировано на примере конструкции из параллельно соединенных

стержней на рис. 3, с разным значением удельного акустического импеданса и с равной площадью поперечного сечения.

В схеме на рис.4*а*) усилие *F*, поступающее на систему параллельно соединенных стержней (рис.3) представлено в виде источника тока *F* с бесконечным внутренним импедансом $z_{и\text{-}F} = \infty$, удельные акустические импедансы стержней z_1, z_2 параллельно присоединены к источнику.

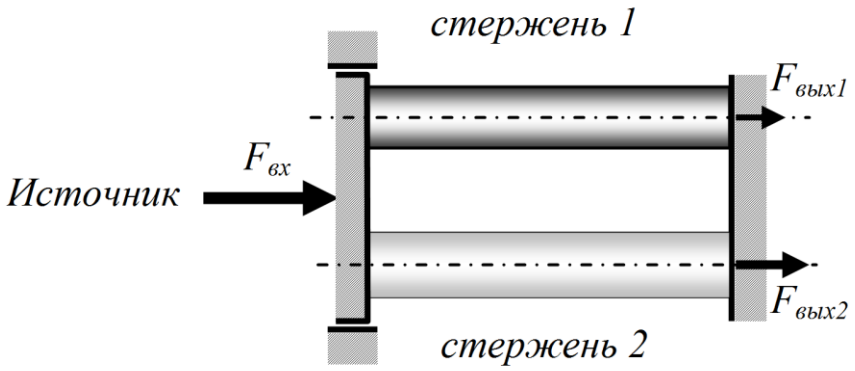


Рис. 3- Схема силового динамического нагружения двух параллельно соединенных стержней

Деформации стержней будут эквивалентны создаваемому на них электрическому напряжению, а силовые нагрузки на стержни будут эквивалентны токам, протекающим через соответствующий каждому стержню импеданс. В принципе, данная схема динамического нагружения может быть заменена дуальной, в которой источником тока с бесконечным внутренним импедансом $z_{и\text{-}x} = \infty$ является одинаковая деформация стержней, импедансы стержней соединены последовательно, а напряжение на этих импедансах будет эквивалентно усилиям, создаваемым на соответствующих стержнях.

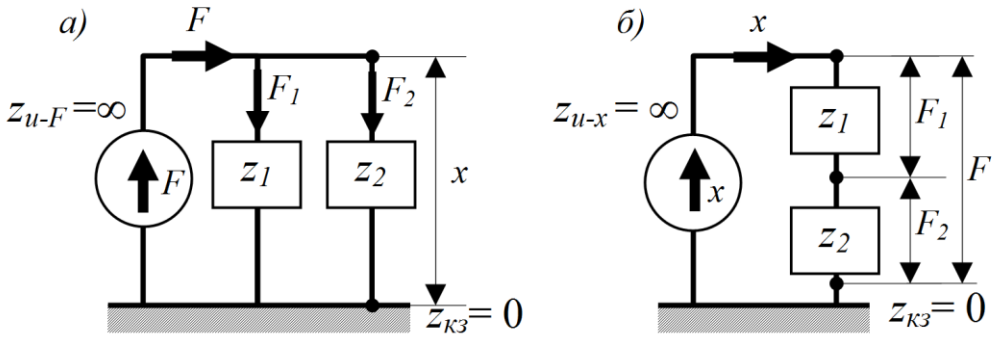


Рис. 4- Дуальные эквивалентные электрические схемы динамического нагружения параллельного соединения двух стержней на рис.3

Используя по аналогии с законом Ома соотношения между усилием и деформациями для схемы на рис.4а), получим систему уравнений для вычисления распределения усилий на стержнях:

$$\begin{cases} x = x_1 = x_2 \\ x = F_1 z_{p1} \\ x = F_2 z_{p2} \end{cases}. \qquad (6)$$

Для дуальной схемы на рис.4б), используя деформацию стержней x в качестве источника тока, для вычисления усилий на стержнях, как напряжений на последовательно соединенных импедансах, получим систему уравнений (7), корни которой равны корням системы уравнений (6):

$$\begin{cases} F = x\left(z_{p1} + z_{p2}\right) \\ F_1 = xz_{p1} \\ F_2 = xz_{p2} \end{cases}. \qquad (7)$$

При всей простоте и удобстве применения электромеханических аналогий для расчета распределения динамических усилий и напряжений в многозвенных стержневых конструкциях существуют определенные ограничительные условия сохранения электромеханического подобия и эквивалентности электрических и механических параметров схем.

1. Не существует идеально соосных и одномодальных конструктивных схем динамического нагружения не только многозвенных, но и однозвенных конструкций стержней, что, впрочем, характерно и для статических систем нагружения, когда приходится в допустимых пределах идеализировать расчетные схемы распределения в них нагрузок. В этом случае необходимо провести модальный анализ нелинейных акустических эффектов в соединении и учесть импедансы по каждой излучаемой соединением моде.
2. Как для динамического, так и статического случаев, не существует идеально жестких или идеальных шарнирных соединений стержней. В этом случае необходимо учитывать собственный импеданс соединения.
3. Кроме весовых (гравитационных) не существует идеальных источников динамических сил или деформаций, что также характерно и для статических систем нагружения конструкций. В этом случае необходимо учитывать собственный импеданс источника нагружения, отличный от нуля или не являющийся бесконечно большим.
4. Рассмотренные схемы являются необходимым шагом для построения расчетных динамических моделей со стержневыми конструкциями. Однако при широкополосных динамических нагрузках выражения для удельных импедансов $z_{p1} = \rho_1 c_{p1}$ и $z_{p2} = \rho_2 c_{p2}$ должны быть заменены более сложными, учитывающими неравенство сечений и наличие акустических резонансов и антирезонансов в стержнях. В ином случае они могут быть использованы только для расчета распределения динамических нагрузок в стержневых конструкциях в полосах частот, не имеющих резонансных проявлений.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558 с.
3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
4. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», - М.: ВНИИНТПИ, №3, 2003, с.16
5. Ультразвук. Под ред. *И.П.Галямина.*–М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.

05.02.10

[1]В.В. Настека, [1]А.Ф. Коренякин к.т.н., [1]Н.Ф. Низамов,
[2]Е.Ю. Чирков, [2]В.М. Кушнаренко д.т.н.

[1]ООО «Газпром добыча Астрахань»,
Астрахань, adm@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

[2]Оренбургский государственный университет,
Оренбург, post@mail.osu.ru

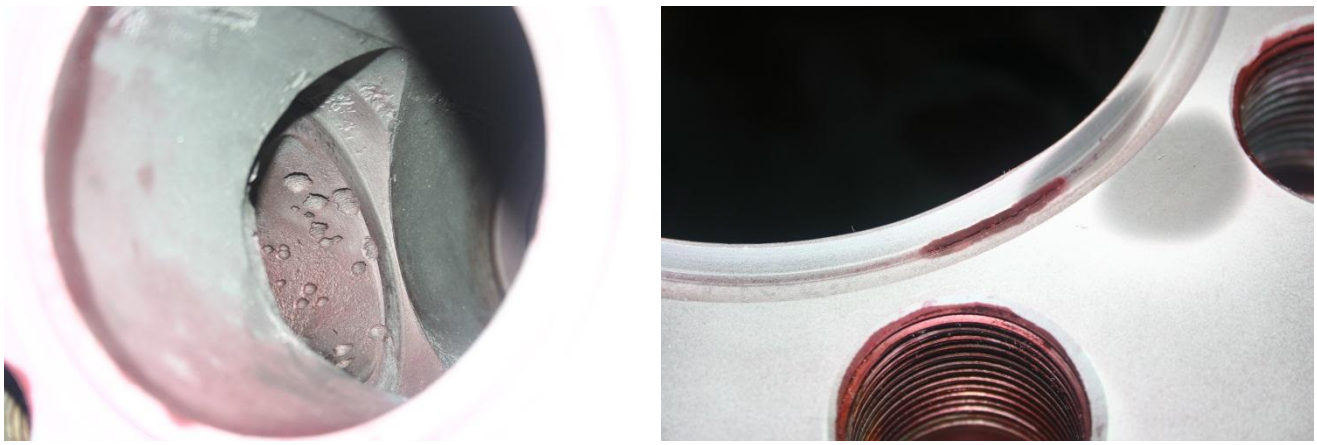
ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРПУСОВ ФОНТАННОЙ АРМАТУРЫ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

В статье рассматривается возможная технология восстановления корпусных элементов фонтанной арматуры, длительно эксплуатируемой на сероводородсодержащих месторождениях. Приведены результаты исследования отремонтированных опытных образцов фонтанной арматуры.

Ключевые слова: *фонтанная арматура, ремонт, наплавка, сероводород.*

Астраханское газоконденсатное месторождение разрабатывается уже более 30 лет. В связи с высоким содержанием в добываемом газе сероводорода (до 25%) и большими давлениями (до 30 МПа) к фонтанной арматуре (ФА) предъявляются высокие требования. В ходе эксплуатации в течение срока службы возникают повреждения корпусов ФА, делающие ее дальнейшую эксплуатацию невозможной. Основными причинами выхода из строя корпусов ФА являются коррозионные и механические повреждения на посадочных поверхностях уплотнительных элементов (рисунок 1).

В связи с высокой стоимостью новых корпусов ФА принято решение об оценке возможности их восстановления и продления остаточного ресурса при помощи ремонтных наплавок. Проведены исследования наплавленного металла и отработана технология наплавки.



а) б)

Рисунок 1 – Коррозионные язвы глубиной до 3 мм в районе посадочного места седла задвижки (а), трещина в основании канавки под уплотнительное кольцо крышки задвижки, выявленная в ходе капиллярного контроля

При эксплуатации в сероводородсодержащих средах в металл корпусов проникает атомарный водород, который при расплавлении металла при наплавке молизуется и образует газовые поры [1]. Для удаления из металла атомарного водорода проводили его дегазацию при температуре 300 С° в течение 6 часов. В связи с отсутствием соответствующих нормативных документов, полноту удаления водорода определяли по стандартной методике,

применяемой для определения свариваемости труб, транспортирующих сероводородсодержащие среды [2]. При точечном нагреве ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с оплавлением поверхности металла корпуса ФА потрескиваний и брызг металла не наблюдалось. При визуальном контроле с применением лупы 4-7 кратного увеличения на поверхности оплавленного металла корпуса ФА не обнаружено трещин, пор, раковин, вздутий и других дефектов, что свидетельствует о полноте удаления водорода и удовлетворительной свариваемости металла.

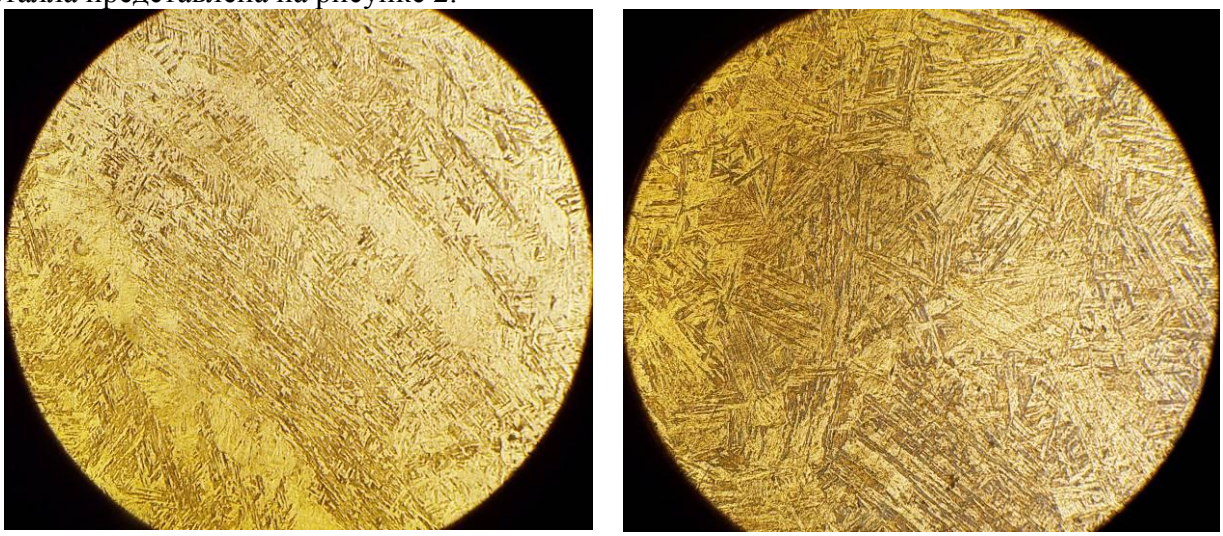
Корпуса ФА изготовляются из стали с содержанием хрома до 14%, никеля до 4,5% и углерода до 0,06%. В качестве наплавочного материала применяли электроды с химическим составом наплавленного металла идентичным основному металлу корпусов ФА.

Для уменьшения остаточных напряжений и снижения вероятности возникновения трещин в ремонтной зоне наплавку проводили после предварительного подогрева до температуры 250-280°С с поддержкой температуры в процессе наплавки. Сразу после наплавки выполняли двухступенчатый отпуск при температуре 671-691°С в течение 8 часов и при температуре 595-621°С в течение 8 часов.

Технология восстановления корпусов ФА включает в себя следующие основные этапы:

- очистка, мойка и дефектация корпуса ФА;
- разработка конструкторской документации на проведение ремонтных работ;
- дегазация, расточка поверхностей под наплавку до полного удаления повреждений, определение свариваемости металла;
- наплавка расточенных поверхностей с допуском на механическую обработку;
- двухступенчатый отпуск;
- расточка наплавленных поверхностей до чистого металла и проведение неразрушающего контроля;
- расточка в размер по чертежу;
- проведение гидравлических испытаний.

Проведены механические испытания и металлографические исследования металла зон наплавки. По результатам механических испытаний наплавленный металл имеет прочностные и пластические характеристики не ниже требуемых в нормативных документах. Твердость основного металла 20-21 HRC, зоны термического влияния 22-24 HRC, наплавленного металла 26-28 HRC. Металлографические исследования не выявили дефектов в наплавке, превышающих требования нормативных документов. Металл корпусов ФА относится к хромоникелевым мартенситно-ферритным сталям. Микроструктура наплавленного металла - феррит и игольчатый феррит (псевдомартенсит), остаточный аустенит, углерод преимущественно растворен в игольчатом феррите. Структура металла представлена на рисунке 2.



а) б)

Рисунок 2– Микроструктура наплавки (а) и основного металла (б), ×200

Проведены коррозионные испытания образцов с наплавкой согласно NACE Standard TM0284 [3] и СТО Газпром 2-5.1-148-2007 [4]. В качестве коррозионной среды применяли водный раствор NACE: 5% NaCI + 0,5% CH_3COOH, насыщенный H_2S, pH $\leq$ 3,5, температура раствора T=24 $\pm$ 3˚C. Трещины водородного растрескивания в металле исследуемых образцов при 100 - кратном увеличении не обнаружены.

Установлено, что металл корпуса фонтанной арматуры после дегазации обладает удовлетворительной свариваемостью. Дефекты, превышающие требования нормативных документов в наплавленном металле не обнаружены. Результаты коррозионных испытаний свидетельствуют о том, что основной металл ФА, переходная зона и наплавленный металл при твердости до 28 HRC обладают стойкостью против сероводородного и водородного растрескивания. Однако основной проблемой при ремонте корпусов фонтанной арматуры является то, что они имеют сложную форму и отдельные участки после ремонта контроленедоступны. Таким образом, корпуса фонтанной арматуры ремонтопригодны только на отдельных участках: канавки под уплотнительные кольца, внутренние поверхности, а в районе посадочные места под седла – являются контроленедоступными после наплавки и, в связи с этим, не могут подвергаться ремонту в этих областях.

Список литературы

1. *Макаров Э.Л.* Холодные трещины при сварке легированных сталей / Э.Л. Макаров. – М.: Машиностроение, 1981.-297 с.
2. СТП 05780913.25.9-2010. Инструкция по технологиям сварки и неразрушающим методам контроля качества сварных соединений трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды.
3. NACE Standard TM 0284-2003. Standard Test Method Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking.
4. СТО Газпром 2-5.1-148-2007. Методы испытаний сталей и сварных соединений на коррозионное растрескивание под напряжением. ОАО Газпром, ООО ВНИИГАЗ, РГУ И.М. Губкина, ОГУ. Москва, ОАО «Газпром» №168 от 27.06.2007 г.

05.13.12

М.В. Овечкин, В.Н. Шерстобитова к.т.н., Д.А. Проскурин к.т.н.

Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт, кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, maxov-1@mail.ru

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СРЕДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В работе представлены результаты изучения методов контроля качества продукции на производстве, в частности рентгенографических методов контроля сварных соединений. Результаты представлены при помощи нотаций IDEF0, предложены пути повышения эффективности рентгенографических методов за счет создания подсистемы автоматизированного контроля качества.

Ключевые слова: *контроль качества, рентгенография, технологический процесс, неразрушающий контроль.*

Для обеспечения высокого качества продукции необходим эффективный контроль качества, позволяющий обнаружить дефект [3]. При этом получение изделий высокого качества возможно только в том случае, если на предприятии осуществляются три вида контроля: предварительный, контроль в процессе обработки и окончательный контроль готового изделия или узла [1]. Таким образом, разнообразные системы диагностики технических объектов и управления технологическими процессами по ее результатам широко распространены в различных областях промышленности. В частности, к ним относятся системы оптического контроля и диагностики сварных соединений, а также неразрушающего контроля и диагностики деталей и конструкций [2].

Функциональную модель для описания процесса контроля качества изделия удобно представить в виде нотации IDEF0 (Integrated computer aided manufacturing Definition for Function Modeling).

На рисунке 1 представлена IDEF0 диаграмма «Контроль качества», включающая в себя три этапа контроля изделия: предварительный контроль, так же обозначаемый как «входной», на данном этапе которого проверяют качество исходных материалов, состояние оснастки и оборудования; операционный контроль (периодический), в ходе которого проверяют соблюдение технологических режимов, стабильность требуемых режимов оборудования; контроль готовой продукции (выходной), который осуществляют в соответствии с техническими условиями, а дефекты, обнаруженные в результате контроля, подлежат исправлению.

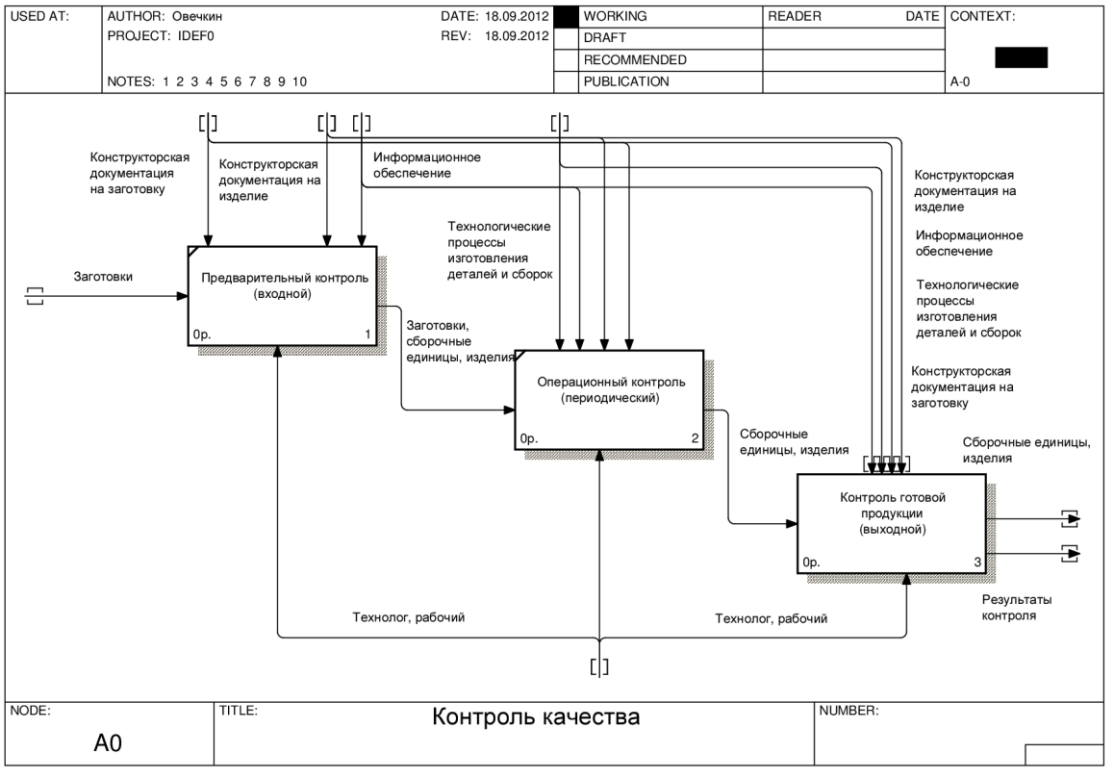


Рис. 1 – IDEF0-диаграмма «Контроль качества»

По результатам выходного контроля возможно составление рекомендаций по улучшению качества продукции за счет корректировки режимов оборудования или технологического процесса в целом.

Существуют два вида контроля качества - разрушающий и неразрушающий (рисунок 2).

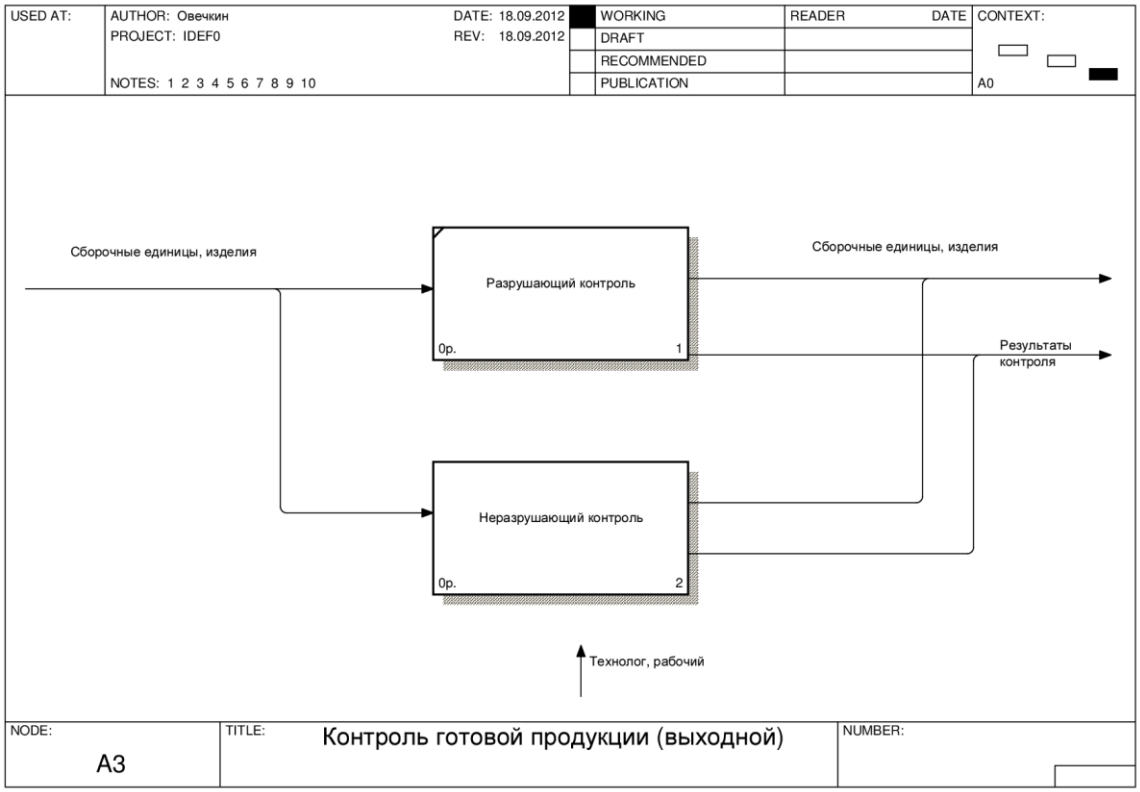


Рис. 2 – Декомпозиция блока «Контроль готовой продукции»

Разрушающий контроль (РК) приводит к полному разрушению или повреждению объекта контроля. Однако РК не может дать полной уверенности в высоком качестве всей партии изделий, подлежащей контролю, так как осуществляется выборочно, и связь результатов контроля с качеством продукции только статистическая. Кроме того, РК не поддается автоматизации, требует специальной подготовки образцов и, следовательно, малопроизводителен.

Неразрушающий контроль (НК) не связан с разрушением или повреждением объектов контроля. Производительность НК довольно высока, часто НК может быть сравнительно легко автоматизирован. Применение НК обеспечивает необходимый фактический запас прочности и надежности машин и механизмов при одновременном снижении количества материалов и массы. НК позволяет перейти к полной автоматизации производства, освободить контролеров от утомительной и однообразной работы [4]. Методы неразрушающего контроля представлены на рисунке 3.

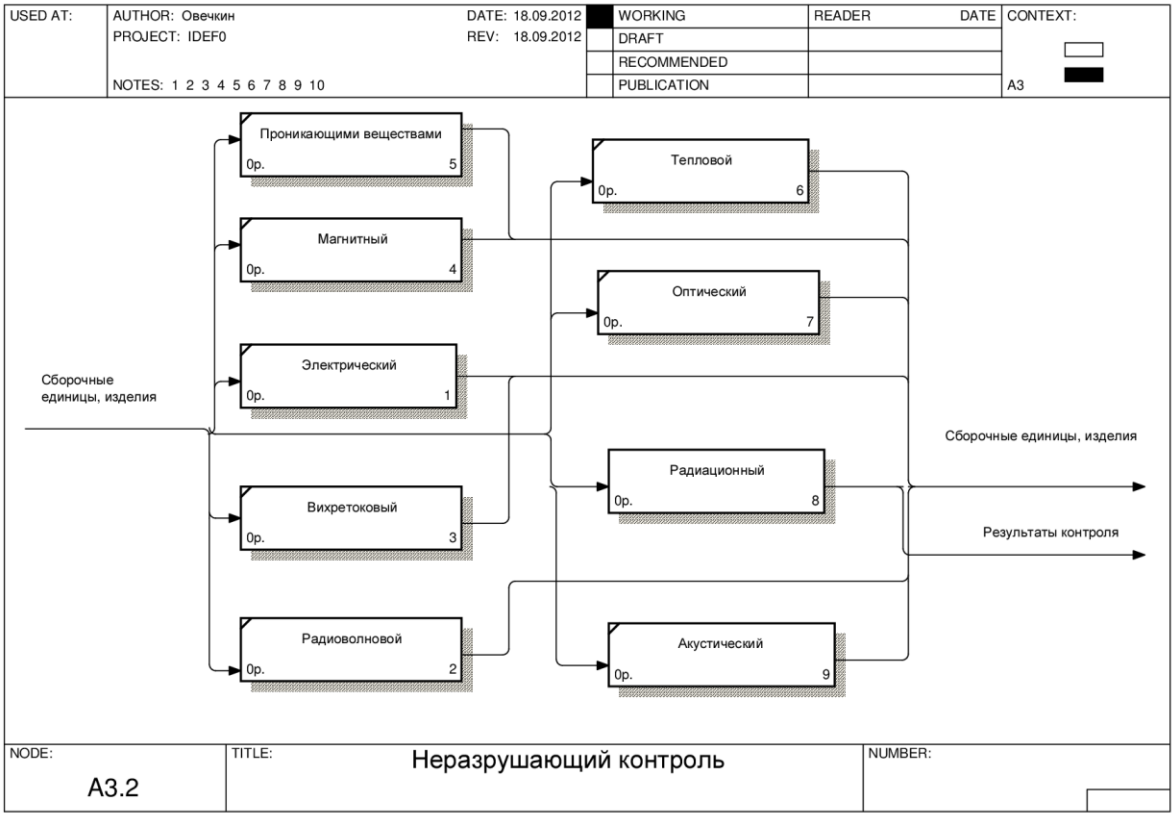


Рис. 3 – Декомпозиция блока «Неразрушающий контроль»

В настоящее время одно из ведущих мест по объему использования методов неразрушающего контроля занимает радиационный контроль (РК). Рассмотрим радиографический метод дефектоскопии, как занимающий наибольший объем из применяемых методов РК. Данным методом выявляются такие дефекты как трещины, непровары, несплавления кромок и пр., относящиеся, в большинстве своем, к дефектам сварных соединений. Недостатком метода радиационного контроля является то, что рассеянное излучение в зависимости от энергии первичного излучения изменяет качество снимка, снижает контрастность и четкость изображения, а, следовательно, и чувствительность самого метода. Вследствие этого явления дефекты малого размера тяжело различить [2]. Декомпозиция блока радиационного контроля представлена на рисунке 4.

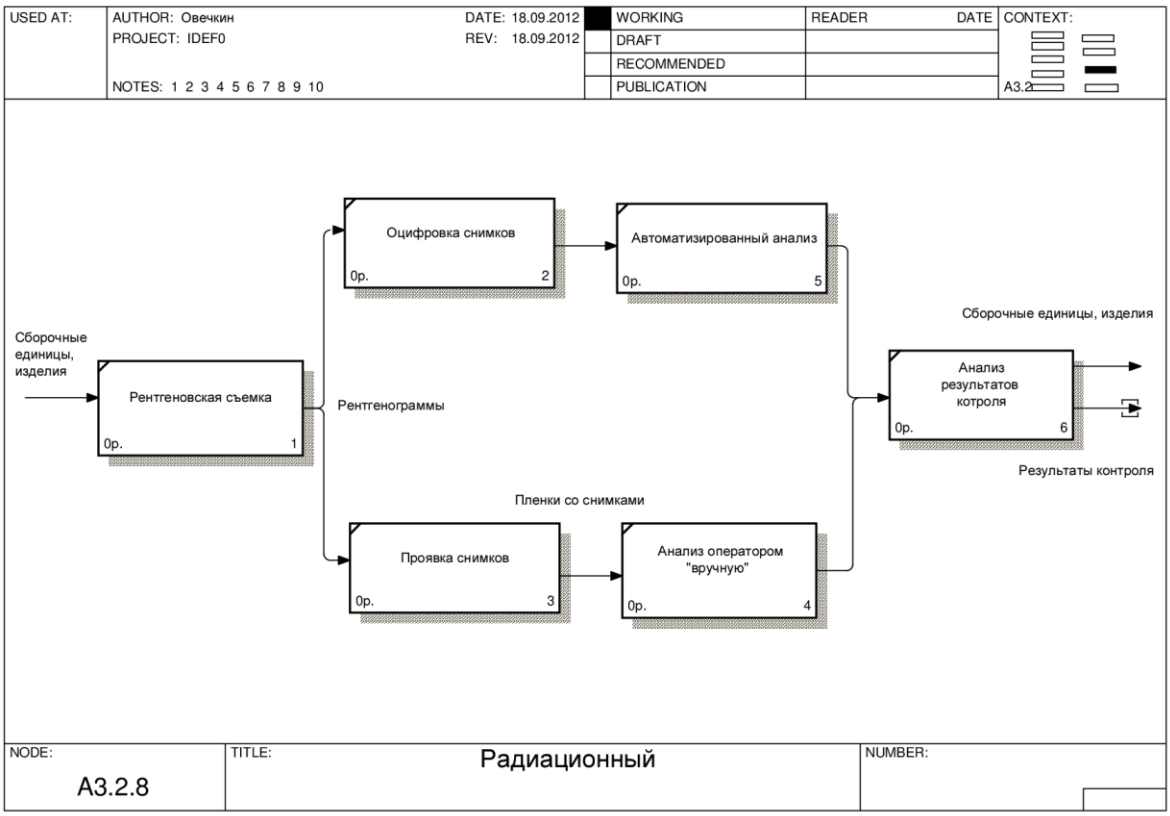


Рис. 4 – Декомпозиция блока радиационного метода контроля

В настоящее время анализ качества сварных соединений, производимый методом рентгенограмм, осуществляется «вручную», т.е. с посредством просмотра оператором рентгеновского снимка детали через увеличительное стекло, либо с помощью просмотра отсканированной и оцифрованной копии снимка в графическом редакторе. При этом оператор самостоятельно производит поиск и анализ дефектов на снимке, что занимает длительное время и не исключает погрешностей, связанных с такими факторами как усталость оператора, рассеянность внимания при длительной монотонной работе и прочих «человеческих факторов», поскольку работа с оцифрованными снимками затруднительна в связи с большим количеством шумов на снимке, а так же сложностью характера изображения.

На рынке программных средств отсутствуют полноценные программные средства автоматизации процесса распознавания и анализа параметров точечных сварных соединений, а так же отсутствуют завершенные методики и алгоритмы автоматизации данного процесса; Имеются лишь некоторые специализированные для отдельных областей исследований программные продукты, включающие в свой состав модули, частично применимые в области распознавания рентгенограмм сварных соединений, но не позволяющие произвести полноценную автоматизацию.

В соответствии с изложенным, является актуальной задача разработки теоретических и практических решений для автоматизации контроля качества сварных соединений путем распознавания и анализа рентгенограмм деталей. Разработан программный комплекс, решающего задачи автоматизированного контроля качества. Согласно исследованиям, применение данной системы позволяет увеличить количество обработанных снимков за час от 2-х (при традиционной обработке оператором «вручную») до 60, повышая при этом так же точность и качество обработки за счет снижения уровня неточностей распознавания на 8-10%.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной

России 2009-2013 годы», проект № 14.B37.21.1863 «Разработка инструментов инженерного анализа для построения высокоавтоматизированных станочных систем».

Список литературы

1. *Коллакот, Р.* Диагностика повреждений / Р. Коллакот / М. : Мир, 1989. – 516 с.
2. *Овечкин, М. В.* Распознавание сварных точечных соединений по рентгеновским снимкам деталей / М. В. Овечкин // CONTROL ENGI-NEERING. Россия - М. – 2011. - № 4. - С. 22-26
3. *Проскурин, Д.А.* Вихретоковый дефектоскоп для контроля прямошовных сварных труб / Д.А.Проскурин // Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов Оренбургской области. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. – С. 10–12.
4. *Проскурин, Д.А.* Получение идентификационных моделей дефектов поверхности прямошовных сварных труб / Д.А.Проскурин // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологни» – Оренбург: ИП Осиночкин Я. В., 2011. – с. 263–271

05.02.08

А.А. Орлов к.т.н.

Снежинский физико-технический институт филиал
Национального Исследовательского Ядерного Университета
Московский Инженерно-физический институт (МИФИ),
кафедра «Технология машиностроения»,
г. Снежинск, orlov74@yandex.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ КОНТУРНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В работе представлена методика управления режимами резания при фрезеровании контуров на станках с ЧПУ. В частности, описывается методика определения подачи, обеспечивающая заданную точность.

Ключевые слова: *станки с ЧПУ, концевое фрезерование контуров, режимы резания.*

Одним из основных средств автоматизации фрезерной обработки деталей имеющих сложный контур являются станки с ЧПУ. Как правило, при обработке контура концевыми фрезами форма заготовки не совпадает с контуром готовой детали. Вследствие чего, припуск на обработку изменяется вдоль контура обрабатываемой детали в широких пределах. В свою очередь, колебание припуска приводит к значительному колебанию силы резания и как следствие к возникновению погрешности обработки.

Очень часто, от технолога-программиста требуется не только рассчитать траекторию движения инструмента, но и произвести адаптацию режимов и других факторов процесса резания к состоянию конкретной технологической системы. Назначаемые технологом режимы резания оказываются зависимыми от его субъективных решений и требуют в дальнейшем многократных корректировок. Отсутствие четких рекомендаций по выбору режимов резания сдерживает решение задачи повышения точности и производительности контурной обработки на фрезерных станках с ЧПУ.

Исследования показывают, что одной из доминирующих составляющих погрешности обработки на операциях контурного фрезерования являются погрешности от упругих деформаций элементов технологической системы.

Качество управления упругими деформациями а, следовательно, и точностью обработки, определяется адекватностью используемых силовых зависимостей реальным условиям. Необходимо использовать математические формулы, которые позволяют создать адекватную реальным условиям модель процесса резания для управления режимами обработки.

Изменение силы резания при работе концевыми фрезами обусловлено непрерывным изменением геометрических параметров зоны резания (толщины срезаемого слоя, положения и длины активной части режущих кромок инструмента), которое в свою очередь вызвано влиянием сложной конфигурации обрабатываемых деталей и переменностью сечения среза при вращении фрезы.

На основе закона механики о равенстве работ активных, реактивных сил и основных законов теории пластичности, используя методику, изложенную в работе [1] получены зависимости для расчета нормальной P_N и тангенциальной P_τ составляющих силы резания, действующих в плоскости получаемых размеров:

$$P_N = \frac{D \cdot \tau_P}{\sin \omega_\Phi} \left[A_{pN} \cdot S_Z \sum_{i=1}^{m} \left(\int_{\varphi_1}^{\phi_i} B_{PN} d\varphi_I \pm \cos \omega_\Phi \int_{\varphi_1}^{\varphi_I} C_{PN} d\varphi_I \right) + D_{PN} \sum_{I=1}^{m} \left(E_{PN} \pm \mu \cdot \cos \omega_\Phi \cdot F_{PN} \right) \right];$$

$$P_\tau = \pm \frac{D \cdot \tau_P}{\sin \omega_\Phi} \left[A_{p\tau} \cdot S_Z \sum_{i=1}^{m} \left(\pm \int_{\varphi_1}^{\phi_i} B_{P\tau} d\varphi_I + \cos \omega_\Phi \int_{\varphi_1}^{\varphi_I} C_{P\tau} d\varphi_I \right) + D_{P\tau} \sum_{I=1}^{m} \left(E_{P\tau} \pm \mu \cdot \cos \omega_\Phi \cdot F_{P\tau} \right) \right], \quad (1)$$

где: D - диаметр фрезы; τ_P - величина касательного напряжения в условной плоскости сдвига; ω_Φ - угол наклона винтовой режущей кромки фрезы; S_Z - подача на зуб; φ_I - угол контакта фрезы с заготовкой; μ - коэффициент трения инструмента с деталью; m - количество одновременно работающих зубьев фрезы; A_{PN} и $A_{P\tau}$ - коэффициенты, зависящие от условий фрезерования для нормальной и тангенциальной составляющих силы резания соответственно; B_{PN} и $B_{P\tau}$ - коэффициенты, зависящие от угла действия и угла сдвига; C_{PN} и $C_{P\tau}$ - коэффициенты, зависящие от сопротивления материала пластическому сдвигу; D_{PN} и $D_{P\tau}$ - коэффициенты, зависящие от износа инструмента по задней поверхности; E_{PN} и $E_{P\tau}$ - коэффициенты, зависящие от угла контакта фрезы с заготовкой; F_{PN} и $F_{P\tau}$ - коэффициенты, зависящие от расположения фрезы относительно детали.

Экспериментальные исследования по динамометрированию сил резания показали, что полученные зависимости (1) адекватно отражают влияние изменяющихся параметров процесса контурного фрезерования на составляющие силы резания в широком диапазоне изменения условий обработки.

Изменение глубины резания в пределах обрабатываемого контура вызывает необходимость управления упругими перемещениями элементов технологической системы для повышения точности обработки.

При обработке одной детали величина Δ характеризует отклонение формы заданного профиля. Она может быть определена по следующей зависимости [2]:

$$\Delta = \frac{D}{\sin \omega_\Phi} \left[S_Z \left(\frac{K_{S1} \cdot K_{R1} \cdot \tau_{P\max}}{j_{\min}} - \frac{K_{S2} \cdot K_{R2} \cdot \tau_{P\min}}{j_{\max}} \right) + \left(\frac{K_{31} \cdot K_{R1} \cdot \tau_{P\max} \cdot l_{3\max}}{j_{\min}} - \frac{K_{3S2} \cdot K_{R2} \cdot \tau_{P\min} \cdot l_{3\min}}{j_{\max}} \right) \right], \quad (2)$$

где $\tau_{P\max}$,, $\tau_{P\min}$ - предельные в партии деталей значения величины касательного напряжения в условной плоскости сдвига; $l_{3\min}$ $l_{3\max}$ - фаска износа по задней поверхности соответственно острозаточенной и предельно изношенной фрезы; $j_{\min}$, $j_{\max}$ - минимальная и максимальная жесткость технологической системы в плоскости получаемых размеров; K_S, K_3, K_R - коэффициенты, учитывающие влияние на погрешность обработки соответственно подачи на зуб, площадки износа по задней поверхности зуба фрезы и радиуса обрабатываемого участка контура (с индексом 1 -для участков детали с максимальным припуском, 2 - для участков детали с минимальным припуском).

Стабилизация упругих деформаций технологической системы легко реализуется на станке с ЧПУ путем управления силой резания за счет изменения подачи. На основе зависимости (2) разработана математическая модель управления подачей:

$$S_Z = \frac{\dfrac{K_y \cdot \delta \cdot \sin\omega_\Phi}{D} - \left(\dfrac{K_{S1} \cdot K_{R1\cdot} \tau_{P\max}}{j_{\min}} l_{3\max} - \dfrac{K_{32} \cdot K_{R2\cdot} \tau_{P\min}}{j_{\max}} l_{3\min} \right)}{\dfrac{\tau_{P\max}}{j_{\min}} K_{S1} \cdot K_{R1\cdot} - \dfrac{\tau_{P\min}}{j_{\max}} K_{S2} \cdot K_{R2\cdot}}, \quad (3)$$

где: K_y - коэффициент, учитывающий долю упругих деформаций в суммарной погрешности обработки, δ - допуск на выполняемый размер.

Для проверки работоспособности разработанной математической модели (3) проводились компьютерное моделирование и точностные эксперименты на фрезерном станке мод ГФ2171.С5 с системой ЧПУ SINUMERIK 802D.

Обработка партии деталей с переменным припуском от 1 до 9 мм с постоянной подачей S_Z =0,03 мм/зуб, выбранной по ныне действующим общемашиностроительным нормативам для участка с наибольшей глубиной резания, показала, что погрешность от колебаний упругих деформаций зависит от колебания припуска. Сравнение теоретических и экспериментальных значений подтверждает адекватность зависимости (2).

Во второй серии опытов обрабатываемая поверхность детали была разбита на три участка с последовательным уменьшением глубины резания. По зависимости (3) для каждого участка рассчитывалась подача, обеспечивающая одинаковую величину погрешности (в пределах допуска $\delta = 0.1 мм$). На первом участке величина подачи составила S_Z=0,23 мм/зуб, на втором - S_Z=0,18 мм/зуб, на третьем - S_Z=0,15 мм/зуб. При обработке партии деталей с переменной подачей значения погрешностей от колебаний упругих деформаций технологической системы на каждом из участков контура стабилизируются, но суммарная погрешность на отдельных участках превышает допуск на выполняемый размер.

После введения на каждом участке контура коррекции размера статической настройки на величину, соответствующую минимальному на этом участке отжиму инструмента, погрешность обработки вдоль всего контура детали не превышает допуска. Величина коррекции размера статической настройки рассчитывалась по формуле (2).

Управление подачей по результатам аналитического расчета в совокупности с коррекцией размера статической настройки позволяет повысить производительность обработки в 1,5…2 раза при обеспечении заданной точности.

Разработанная методика определения режимов резания, позволяющая обеспечить требуемую точность обработки, может быть использована в качестве режимного блока САПР операций контурного фрезерования, а также непосредственно введена в программу управления современным станком с ЧПУ.

Таким образом, в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана научно обоснованная методика определения режимов резания для широкого диапазона варьирования переменных условий процесса контурного фрезерования. Получены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения составляющих силы резания в широком диапазоне варьирования переменных параметров. Получены расчетные методики и математические модели для управления подачей с целью повышения точности и производительности обработки сложных контуров.

Список литературы

1. *Верещака А.С.* Резание материалов. - М.: Высшая школа, 2009.- 539с.
2. Назначение режимов резания при точении и фрезеровании концевыми фрезами с учетом точности обработки, включая алгоритмическое оснащение микропроцессоров./ *С.Н. Корчак, В.И. Гузеев, В.А. Батуев, В.И. Колесников, А.А. Орлов и др.* – М.: ВНИИТЭМР, 1987.- 36с.

05.13.18

С.В. Поршнев д.т.н., Д.А. Якоб

Уральский федеральный университет,
Институт радиоэлектроники и информационных технологий - РтФ, кафедра РЭИС,
Екатеринбург, dmitry.yakob@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬНО-ПРОПУСКНОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ С МАССОВЫМИ ПОТОКАМИ ПОСЕТИТЕЛЕЙ

В работе описана иерархическая модель информационной контрольно-пропускной системы (ИКПС), разработанная на основе семейства методологий IDEF0 и IDEF3 в виде диаграмм.

Ключевые слова: *контрольно-пропускная система, моделирование, IDEF*.

Введение

Задача обслуживания и учета продвижения больших потоков людей внутри большинства объектов рано или поздно закономерно порождает необходимость использования автоматизированных программно-аппаратных комплексов – информационных контрольно-пропускных систем (ИКПС), основными функциями которых являются [1]:

1. организация потоков людей на входах, выходах и внутри объекта;
2. управление разграничениями доступа;
3. сопровождение и контроль процесса прохода;
4. мониторинг текущего состояния системы, получение актуальных и достоверных показателей ее работы в режиме реального времени;
5. накопление и дальнейший анализ статистики для принятия организационных и управленческих решений.

Их внедрение является не тривиальной, но сложной комплексной задачей, решение которой включает в себя целый ряд этапов, из которых наиболее важным оказывается этап проектирования. Это объясняется тем, что выработанные на данном этапе решения, имеющие как практический, так и теоретический характер, являются базисом всех дальнейших действий системного интегратора. Отметим, что переход от «теории» к «практике» всегда является сложным и неразрывно связанным с потенциальными рисками, необходимым условием снижения которых является высокая квалификация и ответственность проектировщика за итоговый результат внедрения и эксплуатации системы. В полной мере данное требование относится к таким системам, как ИКПС, которые должны обеспечивать безопасность объекта, в том числе, участников массовых мероприятий, обслуживающий персонал и технические средства объекта, поэтому к данным системам предъявляются самые серьезные требования как в части их отказоустойчивости и бесперебойности работы, так и в части эксплуатационных показателей. При этом понятно, что организация «натурных» экспериментов для исследования различных сценариев поведения участников массовых мероприятий и последствий принимаемых управленческих решений ответственными лицами невозможна, так как для этого, с одной стороны, требуется большое количество организационных, человеческих, временных и финансовых ресурсов. Таким образом, при крайне высоком уровне ответственности проектировщика, верификация расчетных данных и принятых решений оказывается весьма затруднительной.

В этой ситуации, как показывает анализ современного опыта проектирования различных информационно-управляющих систем, оказывается эффективным подход, основанный на использовании информационных и математических моделей данных систем [2-4]. Данный подход представляется целесообразным использовать и при проектировании ИКПС объектов проведения массовых мероприятий. Для его практической реализации необходимо понимать

особенности бизнес-процессов, управляемых ИКПС, механизмы ее функционирования, а потому системный анализ работы типовой ИКПС, призванный выявить ее основные функции, структурные элементы, описать происходящие в ней процессы и информационные потоки, является актуальным.

В статье представлена структурная модель ИКПС, в которой учитываются требования предъявляемые к ИКПС, используется информационная модель ИКПС, разработанная на основе семейства методологий IDEF.

Общие требования к объектам проведения массовых мероприятий

1. На территорию объекта существует некоторое ограниченное количество входов (GATES).
2. Доступ на территорию объекта проведения массовых мероприятий осуществляется только через разрешенные входы и никак иначе.
3. Разрешение или запрет на вход посетителя должно осуществляться автоматизированно, на основе проверки информации, указанной на входных билетах посетителей (например, штрих-кодов).
4. Каждый из входов должен быть оснащен считывающим устройством (сканер штрих-кода), а также устройством, ограничивающим проход (турникет).
5. Поведение на объекте участников массовых мероприятий регламентируется правилами посещения объекта, которые определяют, в том числе, порядок прохода на объект.

Далее для определенности будем считать, что по одному билету может пройти только один посетитель, все посетители имеют одинаковый приоритет при формировании очередей.

Информационная модель ИКПС

В ходе проведенных ранее исследований авторами разработан комплекс иерархических диаграмм, описывающих механизмы функционирования ИКПС в идеологии SADT-моделирования, с использованием IDEF0-диаграмм [1]. Выбор данного описания обусловлен тем, что она позволяет выявить основные структурно-функциональные части исследуемой системы, а также взаимодействия между ними. Диаграммы IDEF0, соответствующие каждому из уровней декомпозиции рассматриваемой системы представлены на рис. 1–3.

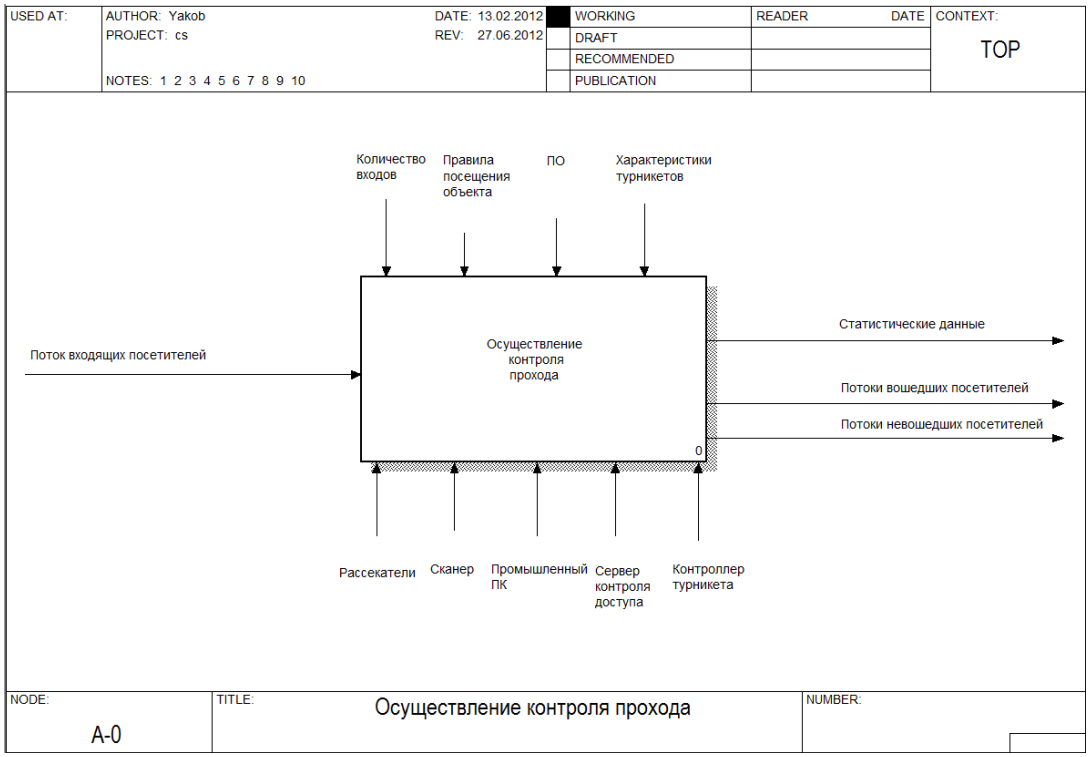


Рисунок 1. Контекстная диаграмма работы ИКПС

Из рис. 1 видно, что ИКПС должна разделять потоки посетителей на входящих и вошедших, так как не каждый из «входящих» посетителей может оказаться в результате работы КПС «вошедшим» посетителем. Отметим, что данное обстоятельство существенно влияет на постановку задачи математического моделирования подобных потоков. Напомним, что в классической задачи теории массового обслуживания [5] предполагается, что все заявки, поступившие в систему, будут рано или поздно обслужены.

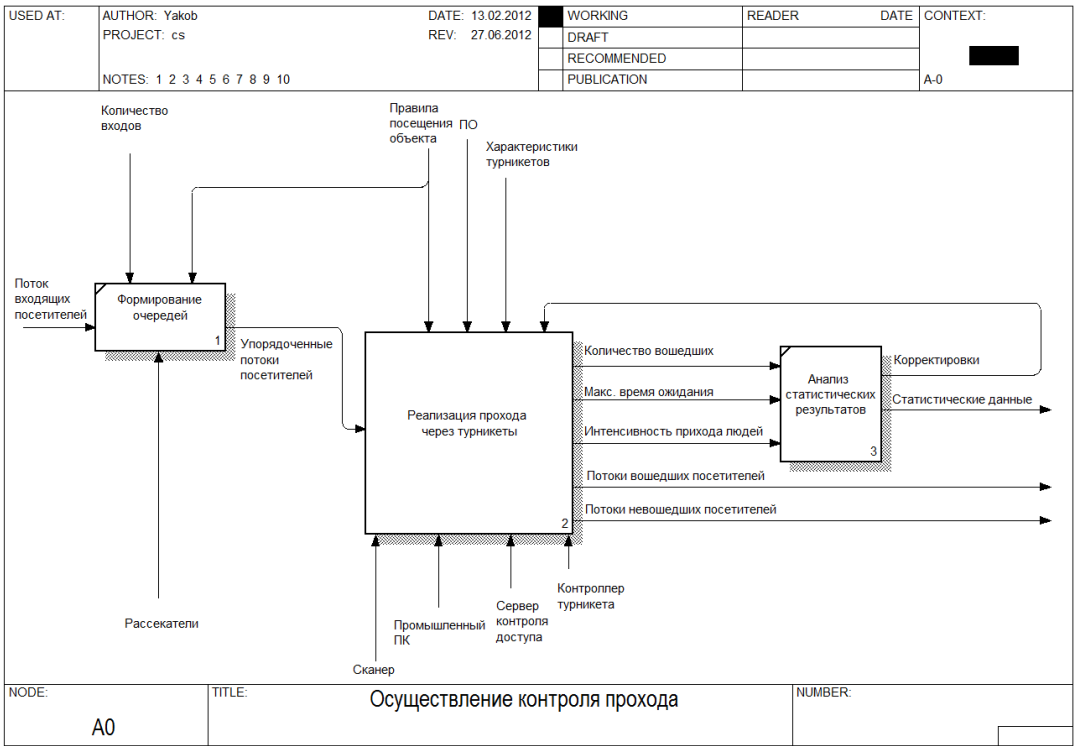


Рисунок 2. Декомпозиция блока «Осуществление контроля прохода»

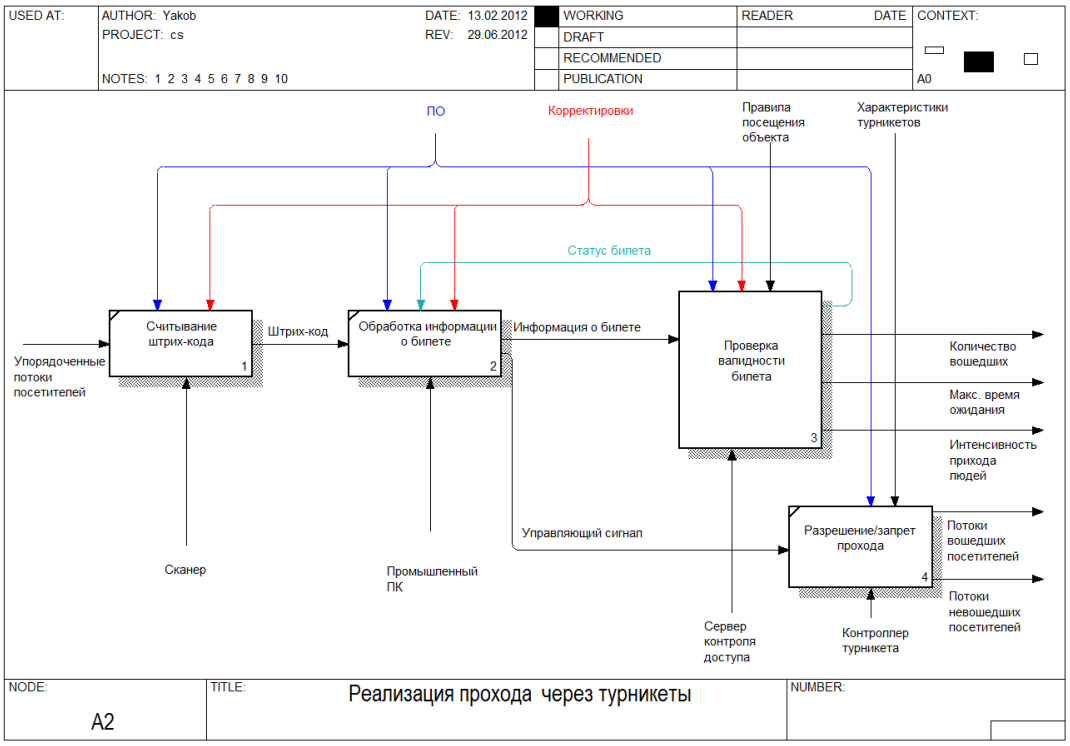


Рисунок 3. Декомпозиция блока «Реализация прохода через турникеты»

Кроме того для построения адекватной математической модели ИКПС и обеспечения ее работоспособности необходим сбор и анализ, в том числе в режиме реального времени, статистических данных о потоках посетителей массовых мероприятий. В этой связи на втором уровне декомпозиции размещен блок анализа статистических результатов (рис.2). Отметим, что обратная связь между блоком «Анализ статистических результатов» и блоком «Реализация прохода через турникеты» обеспечивает поддержку принятия управленческих решений лицами, ответственными за проведение массовых мероприятий, и внесения соответствующих корректировок в параметры работы ИКПС. На диаграмме-декомпозиции блока А0 («Осуществление контроля прохода»), помимо блока «Реализация прохода через турникеты», предусмотрен блок «Формирование очередей», декомпозиция которого в случае отсутствия разграничения категорий приоритетов для различных групп билетов не требуется.

В связи с тем, что билет каждого из посетителей является уникальным (это обеспечивается соответствующим штрих-кодом), требуется дальнейшая декомпозиция блока «Реализация прохода через турникеты», результаты которой представлены на диаграмме-декомпозиции блока А2 («Реализация прохода через турникеты») (рис. 3). Из нее видно, что непосредственный проход посетителей, являющийся основным бизнес-процессом, управление которым обеспечивает ИКПС, оказывается многоступенчатым информационным процессом. Обратим внимание на то, что на рассматриваемой диаграмме имеется блок «Анализ статистических данных», декомпозиция содержания которого является предметом отдельной публикации, отметив при этом, что для изучаемой проблемы гораздо более важными являются «мгновенные», критические, и/или граничные показатели по входам, нежели усредненные по всему мероприятию.

Проведенный анализ описанных выше IDEF0-диаграмм показывает, что данные диаграммы не в полной мере позволяют описать механизмы работы ИКПС, поскольку в SADT-методологии отсутствуют механизмы описания сложных ветвлений моделируемых бизнес-процессов логические элементы. В то время как, дальнейшая декомпозиция блоков «Проверка валидности билета» и «Формирование очередей» (в случае наличия разных по приоритетам категорий билетов) подразумевает описание логики их работы, с использованием ветвлений.

Проведенный анализ [6] семейства методологий IDEF показал, что данный недостаток может быть устранен, если на последующих уровнях декомпозиции ИКПС использовать методологию IDEF3. Данная методология в целом аналогична стандарту IDEF0, в ней каждый функциональный элемент диаграммы, описывающей ветвящийся бизнес-процесс, может быть декомпозирован до любой степени детализации, т.е. представлен в виде отдельной диаграммы. Это свойство дает возможность применять оба вышеупомянутых подхода на разных уровнях декомпозиции при проектировании ИКПС, позволяя тем самым совместить их достоинства для достижения лучшей степени детализации описания процессов ее работы. Кроме того, обе методологии стандартизированы и достаточно полно описаны [7-9], имеют понятное графическое представление, интуитивно понятны и не требуют повышенных трудозатрат при разработке модели.

Пример декомпозиции блока «Проверка валидности билета», в которой использована PFDD-диаграмма в нотации IDEF3, представлен на рис. 4. Из рис. 4 видно, что с ее помощью оказывается возможным отразить логику работы блока «Проверка валидности билета», указав с помощью перекрестков возможные ветвления бизнес-процесса и вердикты, выносимые ИКПС относительно возможности допуска на объект по билету.

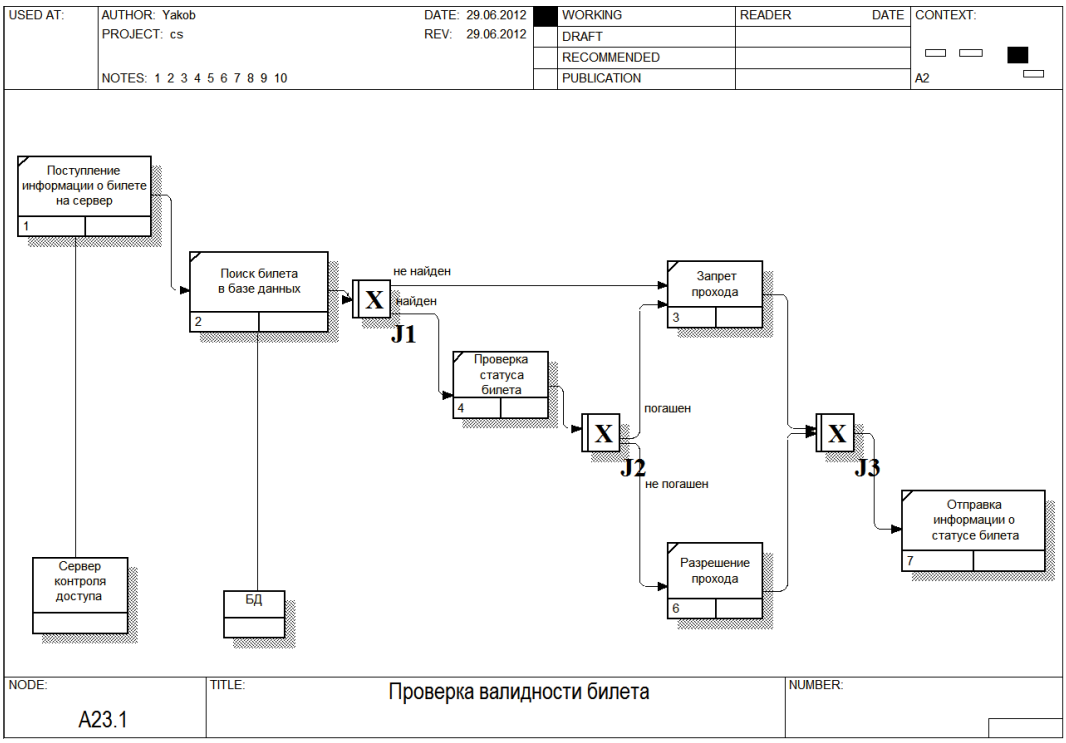


Рисунок 4. Декомпозиция блока «Проверка валидности билета»

Заключение

В статье была описана информационная модель ИКПС, созданная с использованием нотаций IDEF0 и IDEF3. Данная модель позволяет описать структуру ИКПС и реализуемые в ней бизнес-процессы. Таким образом, комплексное использование семейства методологий IDEF позволяет решить задачу построения иерархической информационной модели ИКПС.

Полученные результаты могут быть использованы не только при проектировании новых, но и при анализе работы и модернизации ИКПС, уже использующихся на объектах проведения массовых мероприятий.

Список литературы

1. *Поршнев С.В., Якоб Д.А.* К построению математических моделей контрольно-пропускных систем объектов, используемых для проведения массовых мероприятий: системный анализ проблемы // I Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве» (TIM'2012) с международным участием, 2012, с.262-265.
2. *Гайрабекова Т.И., Квятковская И.Ю.* Разработка информационно-аналитической системы управления региональным агропромышленным комплексом // «Вестник компьютерных и информационных технологий» №6, 2012, с.28-33.
3. *Азаров А.А., Тулупьева Т.В., Тулупьев А.Л.* Прототип комплекса программ для анализа защищенности персонала информационных систем, построенный на основе фрагмента профиля уязвимостей // «Труды СПИРАН», вып. 3(22), 2012, с.21-40.
4. *Агеев Д.В.* Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа // Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций», №2(2), 2010, с.7-22. – режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_ageyev_layer.pdf.
5. *Марка Д.А., МакГоуэн К.* Методология структурного анализа и проектирования. М., «МетаТехнология», 2006.
6. *Поршнев С.В., Якоб Д.А.* О выборе методологии построения информационных моделей контрольно-пропускных систем, используемых для управления людскими потоками высокой интенсивности / «Инженерный вестник Дона», 2012, номер 3 – режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/917.
7. РД IDEF0-2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Госстандарт России. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
8. Integration definition for function modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993, December 21.
9. IDEF3-AL-TR-1995-XXXX information integration for concurrent engineering (IICE) IDEF3 process description capture method report. Richard J. Mayer, Ph.D. Christopher P. Menzel, Ph.D. Michael K. Painter Paula S. deWitte, Ph.D. Thomas Blinn Benjamin Perakath, Ph.D. Knowledge based systems, incorporated one KBSI place 1500 university drive east college station, Texas 77840-2335 human resources directorate logistics research division September 1995 Interim technical report for period April 1992 - September 1995.

05.02.13

Е.В. Пояркова к.т.н., В.И. Полухина к.п.н

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)
Оренбургского государственного университета,
кафедра материаловедения и технологии металлов
Орск, orsk3@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ И РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В работе представлены результаты коррозионно-механических испытаний фрагментов нефтепроводов и сегментов нижнего пояса резервуара, позволившие установить основные закономерности влияния сероводорода на коррозионные процессы и эксплуатационные характеристики исследуемых конструкционных элементов.

Ключевые слова: *промысловые нефтегазопроводы, повреждаемость металла, коррозионно-механические испытания, потеря пластичности.*

На месторождениях Оренбургской области подавляющая часть промысловых нефтегазопроводов выполнена из стальных труб, по которым продукция скважин (нефть, газ, пластовая вода) перекачивается на пункты сепарации. Развитие и обострение локализации коррозионных процессов обусловлено неизбежным контактом пластовой минерализованной воды с поверхностью металла. Практика показывает, что наиболее опасными являются такие коррозионные повреждения нефтегазопроводов как локальные питтинги, язвы и канавки, вызывающие порывы и разрушения уже через 8-10 месяцев после ввода трубопроводов в эксплуатацию. Средний срок службы промысловых нефтегазопроводов не превышает и трети [1, 2] нормативного срока эксплуатации [3].

Испытания из исследуемых марок трубных сталей были проведены в растворах, моделирующих нефтяные и водные фракции при разных концентрациях сероводорода. С целью приближения условий испытаний к натурным в качестве рабочей среды в опытах использована нефть Боголюбского месторождения Новосергеевского района, пробы которой отобраны из пятислойного пробоотборника, установленного на технологическом трубопроводе со скважины № 701, исключающие контакт нефти с воздухом.

Для проведения испытаний на стойкость металла к воздействию исследуемых сред[1] из аварийного запаса нефтепровода вырезаны сегменты труб диаметром 1020 мм. Выполнен спектральный анализ отобранных образцов металла, подтверждающий его соответствие химическому составу стали 17Г1С. Вторая часть образцов была изготовлена из вырезанного сегмента нижнего пояса ремонтируемого резервуара из стали марки 09Г2С. Ввиду отсутствия возможности отбора сегментов трубы с поперечным сварным швом из рабочего участка нефтепровода, исходя из документации на трубопровод, были определены основные параметры сварки, применявшиеся при его сооружении (способ сварки – ручная электродуговая, марка электрода – LB-52U). Поэтому для эксперимента были самостоятельно изготовлены сварные сегменты трубы с учетом указанных параметров.

Комплексная оценка сопротивления материалов воздействию сероводородсодержащих сред в условиях, приближенных к эксплуатационным, выполнялась по методу, сущность которого заключалась в нагружении образцов изделий нормативным рабочим давлением $P_{раб}$ = 64 атм в течение 720 ч сероводородсодержащей средой NACE с последующим доведением до разрушения изделий, выдержавших базовое время испытаний.

---

[1] Водная среда – $H_2O + H_2S$; Нефтяная среда – Новосергеевская нефть (ГОСТ Р 51858-2002) + H_2S

Установлено, что за это время не произошло разрушение испытуемых изделий. Образцы освобождали от коррозионной среды и в середине цилиндрической части вдоль образующей изделия наносили надрез, а в диаметрально противоположном направлении производили утонение.

Испытания по стандартной методике NACE TM 0177-96 образцов из основного металла и сварных соединений при концентрации сероводорода до 10 ppm не выявили изменений их коррозионно-механических свойств. Дальнейшее повышение концентрации H_2S повлекло за собой изменение механических характеристик прочности не более 15 %. Предел текучести материала нефтепровода (как со сварным швом, так и без него) из стали 17Г1С при H_2S равном 1600 мг/дм^3 в среднем увеличился на 37 МПа, а предел прочности существенно не изменился.

Следует отметить, что поведение материала нижнего пояса резервуара (сталь марки 09Г2С) при коррозионно-механическом воздействии на него несколько отличалось от поведения материала трубопроводов. Так, его механические характеристики прочности изменялись кардинально противоположно, по сравнению с материалом трубы. Замечено, что предел текучести не изменился даже при максимальном повышении концентрации сероводорода, а предел прочности, напротив, уменьшился на 58 МПа. Сталь этой марки согласно сертификату качества на отобранный металл в состоянии поставки относилась к категории прочности К52 и по химическому составу имела пониженное процентное содержание серы и примесных элементов.

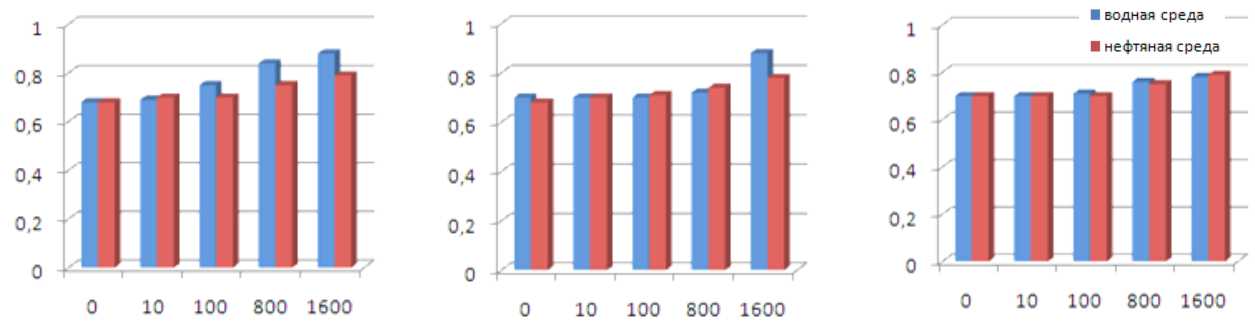
Металлографическим анализом выявлено, что сульфидные неметаллические включения различного химического состава в стали марки 09Г2С были меньшего размера и в количественном выражении также незначительны по сравнению со сталью марки 17Г1С, где наблюдался строчечный характер загрязнения сульфидом марганца [4].

Однако, наиболее опасными неметаллическими включениями, провоцирующими развитие локальной коррозии низколегированных сталей, являются сульфиды кальция [5]. Тип сульфидных включений, выделяющихся в сталях, определяется энергией Гиббса (ΔG) их образования. В порядке убывания абсолютных значений ΔG сульфиды, которые в принципе могут присутствовать в сталях, располагаются в ряду:

$$CaS > TiS > MnS > CrS > NiS > FeS.$$

Поэтому низкоуглеродистые низколегированные стали в первую очередь должны содержать сульфиды кальция и марганца, отрицательно влияющие на уровень упрочняемости материала и его эксплуатационные характеристики.

В связи с этим обстоятельством проанализировано изменение уровня упрочняемости обеих сталей при коррозионно-механическом воздействии, определяемым как отношение предела текучести к пределу прочности исследуемого материала. Результаты расчетов наглядно представлены на рисунке 1. По оси абсцисс отложено содержание сероводорода в мг/дм^3, а по оси ординат - уровень упрочняемости материала исследуемых конструкционных элементов.

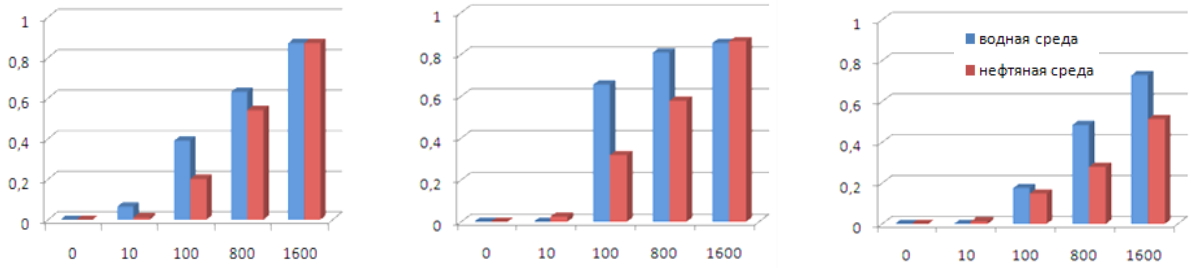


а) б) в)

Рисунок 1 – Изменение уровня упрочняемости материалов при коррозионно-механическом воздействии:
а) металла трубы из стали марки 17Г1С;
б) металла трубы из стали марки 17Г1С (со сварным швом);
в) металла нижнего пояса резервуара из стали марки 09Г2С

В исходном состоянии и при небольших концентрациях H_2S как в водной, так и в нефтяной средах не выявляется различий в уровне упрочняемости всех исследуемых материалов. Максимальное изменение уровня упрочняемости наблюдается в материале трубопровода из стали 17Г1С в водной среде в интервале увеличения концентрации сероводорода от 100 до 1600 мг/дм^3. Наличие сварного шва повлекло за собой изменение этого показателя механической прочности также и в среде, состоящей из Новосергеевской нефти и сероводорода.

С повышением концентрации сероводорода происходит существенное снижение пластических свойств основного металла и металла сварных соединений: так относительное остаточное сужение изменяется с 63,4 до 8,1 % в основном металле трубопровода из стали 17Г2С (соответственно у металла резервуара с 75,4 до 36,6 %) и с 59,3 до 8,7 % у сварного соединения. Анализ изменения потери пластичности материала, определяемого через отношение разности относительного остаточного сужения исходного материала и материала после коррозионно-механического воздействия к механической характеристике пластичности исследуемых сталей $\psi_{исх}$, иллюстративно представлен на рисунке 2.



а) б) в)

Рисунок 2 – Изменение уровня потери пластичности материалов при коррозионно-механическом воздействии:
а) металла трубы из стали марки 17Г1С;
б) металла трубы из стали марки 17Г1С (со сварным швом);
в) металла нижнего пояса резервуара из стали марки 09Г2С

Выявлена минимальная потеря пластичности у материала сегментов нижнего пояса ремонтируемого резервуара при коррозионно-механическом воздействии в нефтяной среде (см. рис. 2, в)). Изменение среды на H_2O + H_2S увеличивает уровень потери пластичности стали марки 09Г2С практически в два раза.

Стоит обратить внимание на то, что интенсивность изменения потери пластичности у

основных металлов и трубопровода из стали 17Г1С, и резервуара из стали 09Г2С обладает схожим характером. Наблюдается закономерность интенсификации этого процесса при увеличении концентрации стимулятора коррозии (сероводорода) от 100 до 1600 мг/дм^3 как в водной, так и в нефтяной средах.

Наличие сварного шва обуславливает резкое изменение пластического показателя уже при концентрации H_2S более 10 мг/дм^3. Установлено, что высокая концентрация сероводорода увеличивает уровень потери пластичности до максимального, не зависимо от второго компонента среды испытаний.

Резюмируя вышеизложенное, заключаем:

1. Анализ результатов коррозионно-механических испытаний позволил установить основные закономерности влияния сероводорода на коррозионные процессы и эксплуатационные характеристики конструкционных элементов нефтепроводов и резервуаров.

2. При концентрации в рабочей среде H_2S до 10 мг/дм^3 с одновременным условием отсутствия металлургических дефектов и дефектов сварки, а также исключения застойных зон сероводородсодержащих рабочих сред показана возможность эксплуатации трубопроводов и резервуаров из доэвтектоидных марганецсодержащих низколегированных сталей.

Список литературы

1. *Низамов К.Р.* / Повышение эксплуатационной надежности нефтепромысловых трубопроводов. // Автореферат дисс. на соискание ученой степени док. техн. наук, Уфа, 2002, - 46 с.

2. *Барышов С.Н.* / Вероятностное прогнозирование ресурса нефтегазового оборудования при эксплуатации в сероводородсодержащих средах. // Автореферат дисс. на соискание ученой степени док. техн. наук, Москва, 2009, - 38 с.

3. РД 39-132-94. / Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов. // М.: 1994, с.6.

4. *Пояркова Е.В., Кузеев И.Р.* / К вопросу о решении проблемы повышения надежности оборудования нефтегазовой отрасли на основании контроля качества сварных соединений // Уфа : Нефтегазовое дело, 2008 ,том 6, №1 – с.239-244.

5. *Keller H.,* Grabke K.J., Stoppa K.P. / Chemishe und electrochemische Reaktionen von Eisensulfid und Mangansulfid in Sauren und neutralen Losungen. // Werkst. Und Korrosion. 1981. B.32. № 8. S. 275-281.

05.13.18

К.В. Рочев

Ухтинский государственный технический университет,
факультет информационных технологий, кафедра информационных систем и технологий,
Ухта, krochev@ugtu.net

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ В СИСТЕМЕ СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДОВОГО КОЛЛЕКТИВА

Данная статья посвящена методике разделения сотрудников и студентов вуза на непересекающиеся классы, расположенные по возрастанию измеряемого латентного качества (знание, умение, интеллект и т.п.). Границы классов определяются, исходя из заданной допустимой «доли брака» в каждом классе, то есть доли испытуемых, попадающих в более высокий класс исключительно за счет угадывания правильного ответа в задании (речь идет о тестах закрытого типа).

Ключевые слова: *проверка знаний, тестирование, стимулирование труда, математическая модель, границы классов.*

В любой системе стимулирования трудового коллектива важным моментом является проверка и оценка профессиональных знаний и умений сотрудников. Причём это справедливо как для всех сотрудников в целом, так и для управляющего персонала, применяющего эту систему – на знание основных принципов работы самой системы.

В Ухтинском государственном техническом университете функционирует так называемая «Индексная система» стимулирования профессорско-преподавательского состава [5], а также вводятся системы стимулирования сотрудников и студентов. Естественной необходимостью для адекватной оценки знаний в сфере их деятельности является обоснованное, объективное и универсальное распределение сотрудников по уровню знаний на несколько классов. Решением для этой задачи является приведённая ниже методика.

Будем считать, что *целью процедуры тестирования* является разбиение множества испытуемых на непересекающиеся классы, расположенные по возрастанию измеряемого латентного качества (знание, умение, интеллект и т.п.).

Введем обозначения:

m – число правильных ответов на n предложенных заданий; $\mu = m/n$.

Для организаторов тестирования задача оценки его результатов на математическом языке может быть сформулирована следующим образом:

По результатам тестирования испытуемых $\mu_1, \mu_2, \ldots$ ($\mu_i \in [0, 1]$) и *заданной* функции *f*, осуществляющей гомоморфное отображение отрезка [0, 1] на множество классов C:

$$[0,1] \xrightarrow{f} C$$

$$C = \{C_1, C_2, \ldots, C_N\}$$

$$C_1 \prec C_2 \prec \ldots \prec C_N$$

отнести каждого испытуемого в тот или иной, определенный класс (здесь бинарное отношение между классами $C_i \prec C_k$ читается: «класс C_i ниже класса C_k»).

Эту постановку задачи можно наглядно проиллюстрировать, приняв в качестве примера нашу традиционную четырехбалльную систему оценок (Рис.1):

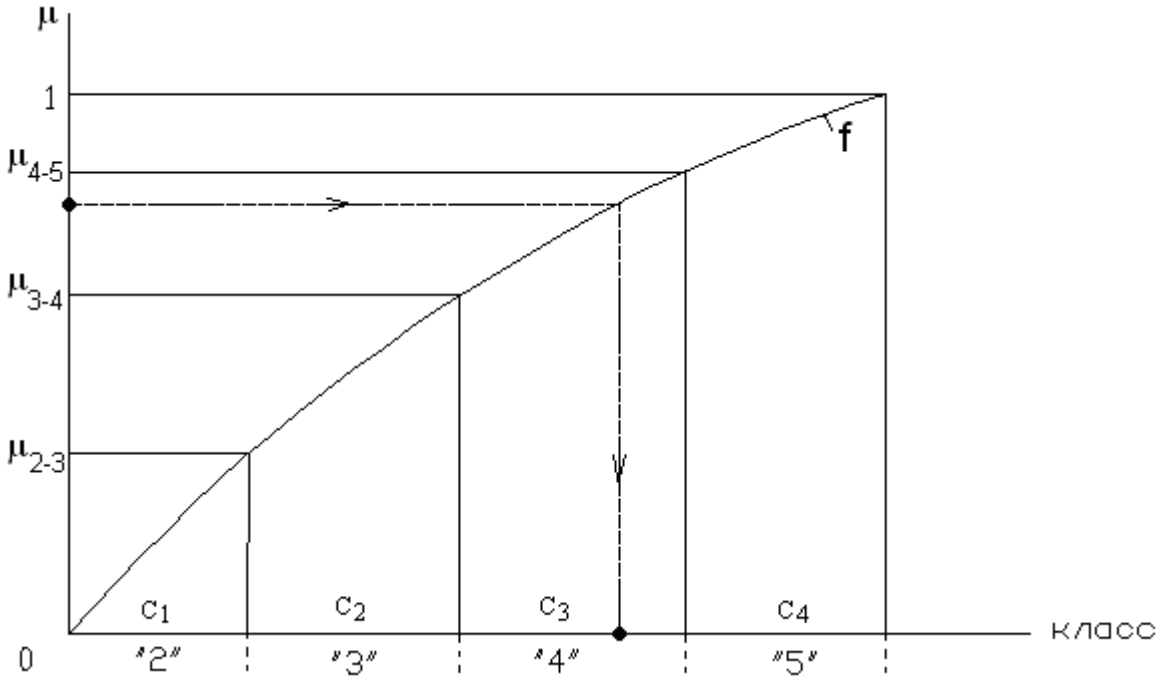


Рис. 1 – Распределение тестируемых по классам

Проблема состоит в том, что функция f неизвестна, но поскольку по смыслу она монотонно возрастающая (неубывающая), на практике при каждом конкретном акте тестирования и заданном количестве классов достаточно знать лишь отдельные значения этой функции $\mu_{2\text{-}3}$, $\mu_{3\text{-}4}$, $\mu_{4\text{-}5}$ и т.д. – «границы оценок», причем желательно иметь их «на все случаи жизни» – при разном количестве тестовых заданий n, разном числе возможных ответов в задании k и разном числе классов N.

В [2] сформирован ряд допущений, при которых возможно создание объективной системы распределения оцениваемых сотрудников (и студентов) по классам. Напишем о них вкратце:

1. Рассматриваются лишь *абсолютные* тесты [4], то есть такие, в которых оценка каждого испытуемого не зависит от результатов других участников тестирования.

2. Тест имеет *закрытую* форму, то есть состоит из конечного множества заданий с конечным набором возможных ответов на каждое из них, из которых один и только один ответ верный, остальные - заведомо неверные.

3. Количество предлагаемых ответов k в каждом задании одинаково (ниже рассматривается также более общий случай – без этого допущения).

4. Вероятность угадать правильный ответ в любом задании не зависит от того, какой ответ (правильный или неправильный) испытуемый дал в любых других заданиях.

5. За каждое правильно решенное задание испытуемый получает 1 балл, за каждое неправильно решенное – 0 баллов (дихотомический принцип).

6. Испытуемый *обязан* отметить какой-то один ответ в *каждом* задании (пропуски заданий недопустимы)

Рассмотрим математическую модель тестирования тех испытуемых, которые по тем или иным причинам решили в *каждом* задании теста отмечать ответы наугад (будем пока называть их «двоечниками»). С учетом перечисленных выше допущений эта модель представляет собой схему Бернулли [4], а количество правильно решенных заданий – это случайная величина ξ, подчиненная биномиальному распределению

$$P(\xi = i) = \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}; i = 0,1,...,n \qquad (1)$$

с параметрами: n - число заданий и $p = 1/k$ = const - вероятность успеха в каждом задании.

Будем работать с *первичными* баллами, то есть с суммой баллов по всем заданиям.

Наша ближайшая цель: опираясь на результаты тестирования – долю правильно выполненных заданий μ_1, μ_2, … первым, вторым и т.д. испытуемым – попытаться отсеять «двоечников» от остальной массы испытуемых (этих последних для краткости будем называть «прочими»). Поскольку в полной мере это сделать невозможно, зададимся вопросом: сколько процентов «двоечников» (в среднем), проскочивших в разряд «прочих» «по воле случая», нас устраивает? Обозначим это число

$100\Lambda_{2\text{-}3}$%. Ясно, что чем оно больше, тем больше «брака» мы допускаем при оценке результатов тестирования, то есть тем меньше надежность теста. Переходя от частотной интерпретации к вероятностной, имеем:

$$P(\xi > m_{2-3}) = \Lambda_{2-3}, \tag{2}$$

где $m_{2\text{-}3}$: 100 (1 - $\Lambda_{2\text{-}3}$)%-й квантиль биномиального распределения с параметрами n и $p = 1/k$.

На тестологическом языке $m_{2\text{-}3}$ – граница между классами C_1 («2») и C_2 («3»), а $\mu_{2\text{-}3}$ на рисунке 1 – это та же граница, но отнесенная к числу заданий n. Задавшись значением $\Lambda_{2\text{-}3}$, можно с учетом (1) и (2) найти эту границу для всех встречающихся на практике тестовых параметров по формуле:

$$\sum_{i=m+1}^{n} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} = \Lambda_{2-3} \tag{3}$$

Примечание. В силу дискретности модели, точно на «долю брака», равную заданной, как правило, выйти не удается; поэтому программа вычисляет минимальное значение границы между соседними классами

m = $m_{2\text{-}3}$, удовлетворяющее неравенству:

$$\sum_{i=m+1}^{n} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \le \Lambda_{2-3} \tag{3$^/$}$$

Перейдем к отысканию других границ - в нашем примере $m_{3\text{-}4}$ ($\mu_{3\text{-}4}$) и $m_{4\text{-}5}$ ($\mu_{4\text{-}5}$), то есть границ между классами C_2 («3») – C_3 («4») и C_3 («4») – C_4 («5»).

Будем считать, что какая-то часть испытуемых, которые *закономерно*, а не случайно попали в класс «прочих», то есть действительно правильно и вполне осознанно решила $m_{2\text{-}3}$ заданий, на этом *исчерпала* свой запас знаний (умений, интеллекта) и ответы на оставшиеся n - $m_{2\text{-}3}$ заданий, в соответствии с допущением 6), заполняла «как попало», наугад. Тогда, чтобы найти границу между классами «тройка» - «четверка» $m_{3\text{-}4}$, то есть чтобы отсеять троечников так, как мы только что отсеивали двоечников, надо решить ту же задачу, что и при отыскании $m_{2\text{-}3}$, только в формулах

(1) – (3$^/$) вместо n надо подставить n - $m_{2\text{-}3}$, а вместо $\Lambda_{2\text{-}3}$ подставить $\Lambda_{3\text{-}4}$:

$$n \to n - m_{2-3}\ ;\ \Lambda_{2-3} \to \Lambda_{3-4} \tag{4}$$

Точно таким же путем можно найти любые другие высшие границы оценок, в частности $m_{4\text{-}5}$ ($\mu_{4\text{-}5}$) – между классами «четверка» - «пятерка»:

$$n \to n - m_{2-3} - m_{3-4}\ ;\ \Lambda_{3-4} \to \Lambda_{4-5} \tag{5}$$

Допустим теперь, что тест составлен из заданий *различной* сложности, причем самых лёгких заданий в тесте n_1 , более сложных– n_2 и т.д., самых сложных – n_s, так что $n_1 + n_2 + \ldots + n_s = n$, где n – общее количество тестовых заданий, а s – количество групп сложностей.

Для человека, «решающего» задания «методом тыка», его сложность определяется только числом возможных ответов в задании. Для того, чтобы адекватно отразить заданную шкалу сложности заданий для «двоечника», необходимо каждой группе заданий поставить в соответствие соответствующее количество возможных ответов в каждом задании. Иначе говоря, в 1-й группе каждое задание имеет k_1 возможных ответов, во 2-й (более сложной) – k_2 и т.д., в s-й (самой сложной) - k_s ответов, причем $k_1 < k_2 < \ldots < k_s$.

Например: $k_1 = 3$, $k_2 = 6$, $k_3 = 9$ ($s = 3$). Отсюда вероятность угадать правильный ответ в каждом задании 1-й группы – $p_1=1/k_1 =1/3$, 2-й группы – $p_2=1/k_2 =1/6$, 3-й группы – $p_3=1/k_3 =1/9$.

Тогда процесс решения всего теста есть последовательное проведение s групп испытаний Бернулли с параметрами (n_1,p_1), (n_2,p_2), … ,(n_s,p_s) в каждой группе.

Займёмся фильтрацией испытуемых, отыскивая границы между классами. Причем делать это будем отдельно и независимо в каждой группе сложности. Алгоритм тот же, что и описанный выше с заменой n на n_1, n_2, и т.д. n_s и p - на p_1, p_2, и т.д. p_s соответственно.

При этом число классов N не должно превышать $N < \max(n_1, n_2,\ldots, n_s)$.

Если на каком-то классе в какой-то группе сложности количество заданий исчерпано, то мы продолжаем процесс в других группах сложности, считая, что, начиная с этого класса в исчерпавшей себя группе тестируемый должен решить все задания.

Таким образом, типичная формула для определения границы между

1-м и 2-м классами в j-й группе сложности ($1 <= j <= s$):

$$\sum_{i=m_j+1}^{n_j} \binom{n_j}{i} \cdot \left(\frac{1}{k_j}\right)^i \cdot \left(1-\frac{1}{k_j}\right)^{n_j-i} = \Lambda_2^j, \qquad (6)$$

где:

Λ_2^j - допустимая доля брака во 2-м классе для j-й группы сложности

С учетом Примечания выше, аналогично формуле ($3^/$) имеем формулу ($6^/$) для определения нижней границы 2-го класса каждой группы сложности ($j = 1, 2, \ldots , s$):

$$\sum_{i=m_j+1}^{n_j} \binom{n_j}{i} \cdot \left(\frac{1}{k_j}\right)^i \cdot \left(1-\frac{1}{k_j}\right)^{n_j-i} \le \Lambda_2^j, \qquad (6^/)$$

Затем для определения границ в 3-м классе делаем замену, аналогичную (4): $n_j \to n_j - m^{(2)}_j$ и $\Lambda_2^j \to \Lambda_3^j$ ($j = 1, 2, \ldots , s$), для 4-го класса – замену, аналогичную (5): $n_j \to n_j - m^{(2)}_j - m^{(3)}_j$ и $\Lambda_3^j \to \Lambda_4^j$ ($j = 1, 2, \ldots , s$) и т.д. для остальных классов.

Вероятность брака во 2-м классе для всей схемы теста определяем как:

$$\Lambda_2 = 1-\prod_{j=1}^{S}\left(1-\Lambda_2^j\right) \qquad (7)$$

В частности, если

$$\Lambda_2^j = \Lambda = \text{const}\,|_j \qquad (8)$$

то:

$$\Lambda_2 = 1-(1-\Lambda)^s \qquad (9)$$

Пользователь задаётся в первую очередь Δ_2 и из (9) определяет Δ:

$$\Lambda = 1-(1-\Lambda_2)^{1/s} \qquad (10)$$

Затем из ($6^/$) с учетом (8) и (9) находятся границы между классами в каждой группе сложности.

Совершенно аналогично поступаем с определением брака и границ между классами для остальных классов.

Тот факт, что описанный алгоритм опирается на категорию «незнающих», решающих недоступные для понимания задания «методом тыка» (эта категория не зависит ни от предметной области теста, ни от способа компоновки заданий по степени сложности – все «незнающие» одинаковы, неразличимы), позволяет организаторам получать *универсальные* границы между классами. Представленный алгоритм реализован в системе поддержки принятия решений «Определитель Тестовых Классов» (СППР ОТК) [3]. Если, исходя из особых соображений, организаторы примут решение сдвинуть эти границы вверх или вниз, то благодаря СППР ОТК они получают количественную информацию о соответствующем

изменении «доли брака» в каждом классе, которое влекут эти сдвиги. Без применения данной программы организаторы принимают решения о назначении границ оценок «вслепую» в том смысле, что не имеют информации о степени «засоренности» каждого класса испытуемыми, «проскочившими по ошибке» из низшего класса в данный.

Список литературы

1. *Большев, Л.Н., Смирнов, Н.В.* Таблицы математической статистики. - 1965. - М.: «Наука», 464 с.
2. *Данилов, Г.В., Рочев, К.В., Апанасик, А.В.* Система поддержки принятия решений «Определитель тестовых классов. В мире научных открытий. – 2010. – №1 – С. 12-17.
3. *Данилов, Г.В., Рочев, К.В., Апанасик, А.В* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Обобщённый определитель тестовых классов (ООТК)» от 9 июня 2010 г. № 2010613790.
4. *Нейман, Ю.М., Хлебников, В.А.* Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. - М., 2000. - с.38.
5. *Рочев, К.В., Цхадая Н.Д., Данилов, Г.В.,* Эффективная система материального стимулирования профессорско-преподавательского состава вуза как катализатор формирования конкурентной среды в преподавательском коллективе. «Key instruments of human co-existence organization: economics and law»: materials digest of the XIIth International Scientific and Practical Conference. Odessa: InPress, 2011. 246 p.

05.02.22

И.В. Рубцов к.т.н., М.С. Савин

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»
(ФГБОУ ВПО «МГСУ),
Москва, pik-mgsu@mail.ru

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО МЕТОДА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ

Строительная отрасль неотъемлемо связана с прогрессом. Разработки современных инструментальных методов мониторинга основаны на переосмыслении классических подходов с применением современных технологий. Использование оптико-цифровых регистраторов в задачах строительного мониторинга расширяет и значительно упрощает решение частных задач организации наблюдения за протяженным объектом. Примером работы системы регистрации данных может служить экспериментальный стенд «Протяженный объект» в центре мониторинга МГСУ, на основе которого создается современный метод геодезического мониторинга протяженных объектов.

Ключевые слова: *Геодезический мониторинг, протяженный объект, видеорегистрация данных.*

Одним из приоритетных направлений промышленной безопасности строительных объектов является строительный мониторинг. Целью организации систем мониторинга является регистрация изменений технического состояния объекта наблюдений в промежутке времени, с дальнейшим определением динамики развития негативных процессов, влияющих на жизнедеятельность строительного объекта.

Строительный мониторинг предполагает комплексную оценку различных технических параметров, что реализуется использованием специализированных методов измерений с установкой регистрирующих датчиков и измерительного оборудования.

Для наблюдений за изменениями геометрических параметров строительного объекта используются геодезические методы измерений (геодезический мониторинг)

В виду значительного прогресса в приборостроении классические геодезические методы перенаправлены на современные оптикоэлектронные приборы (электронные тахеометры, цифровые нивелиры и т.д.). Тенденция внедрения новых технологий предполагает разработку не только новых методов, но и свежие подходы к классическим методам наблюдений.

Актуальным направлением научных изысканий в области геодезического мониторинга является разработка/переработка методических основ створных измерений для использования оптикоцифровых технологий (систем видеорегистрации), как основное регистрирующее оборудование.

Для обоснования направления исследований стоит определить понятие протяженный объект.

Объект протяженный с точки зрения установки регистрирующего оборудования, т.е. если существует ограничения в зрительной доступности всей необходимой зоны измерений с фасада/перпендикулярно к объекту, но остается возможность установки системы с фронта/в створе. Понятие протяженности не предполагает четкой градации по типам строительных объектов/конструкций. Предлагается ряд критериев, по которым можно выделить протяженный объект и тем самым задать граничные условия для проектирования систем мониторинга и выбора необходимых методов. Для примера протяженного объекта можно

назвать большепролетную конструкцию, ряд колонн, стена в условиях стеснённой городской застройки, а так же парапет или даже высотное здание и т.д.

Измерения в створе, в геодезии называются створными методами (метод бокового нивелирования), и основным регистрирующим оборудованием является оптический теодолит. Классические геодезические методы наблюдений предполагают значительные ограничения. Например, метод бокового нивелирования имеет ограничения в длине трассы, в трудозатратах производимых измерений, в необходимости обеспечения условий использования метода, в параметрах объекта на которых возможно проведение наблюдений. [1]

В проекте предлагается использование современных оптико-цифровых технологий (систем видеорегистрации), как основное регистрирующее оборудование, в геодезическом мониторинге протяженных строительных объектов.

Подобными изысканиями, с разработкой единичных систем мониторинга, проводятся в:

1) ОАО ГСПИ - экспериментальная разработка «Видеостворофиксатор»
2) МИИГАиК - лазерная сканирующая измерительная система «ЛИС»

Отличительным признаком предложенного подхода к созданию системы является возможность регистрировать смещения нескольких мишеней/марок установленных вдоль всей трассы одним оптикоцифровым прибором на основе ПЗС матрицы [2].

Для реализации метода в центре мониторинга строительных конструкций МГСУ был разработан экспериментального стенд «Протяженный объект», с заказом лабораторного образца программно-аппаратного комплекса «Видео-РИТМ» (рис №1).

Рис. 1- Схема устройства стенда «Протяженный объект»

На основании экспериментального стенда прорабатывается возможность использования оптико-цифровых технологий в целях геодезического мониторинга.

Стенд состоит из:

- видеорегистратор (рис №2);

Оптико-цифровой регистратор данных на основе ПЗС матрицы. Крепится на базисную точку створа.

Рис. 2- Система видеорегистрации «Видеоритм-А»

- активные мишени/марки (рис №3);

Элементы съема информации, основанные на светодиодных излучателях. Крепятся вдоль трассы на объект наблюдений, с условием видимости всех марок в одном кадре.

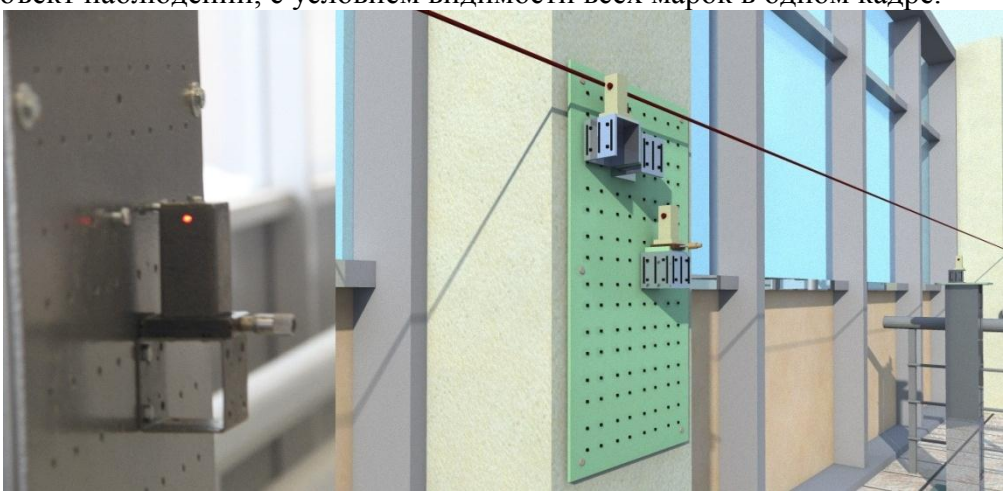


Рис. 3- Активная мишень/марка

- программно-аппаратный комплекс;

Переносной компьютер со специализированным программным обеспечением. Позволяет производить комплекс математических операций для вычисления смещений мишеней/марок относительно начального положения (начального кадра).

Наработка статистики в лабораторных условиях позволяют определить:

1) Фактические точности прибора в различных условиях эксплуатации.
2) Основные погрешности измерений и меры по увеличению точностей измерений
3) Габариты и размеры мишеней/марок
4) Оптимальное расположение в кадре регистратора мишеней/марок
5) Оптимизация программно-аппаратного комплекса для целей строительного мониторинга (сравнение методик определения координат мишеней/марок)
6) Внедрение экспериментальных геодезических методик (безопорные геодезические измерения)

Основными идеями научно-исследовательского проекта являются конкретные предложения по оптимизации параметров экспериментального программно-аппаратного комплекса «ВидеоРИТМ», с созданием метода мониторинга за протяженными объектами.

Комплексные системы строительного мониторинга являются прерогативным направлением в промышленной безопасности. Результаты данных научных изысканий найдут применение при реализации эффективных систем контроля геометрических параметров различных строительных объектов. Внедрение методов на основе оптико-электронных технологий позволит дополнить системы мониторинга автоматизированными и в перспективе автономными системами наблюдений.

Список литературы

1. *Симонян В.В., Лабузнов А.В., Ангелова Н.В., Савин М.С.* Сравнительный анализ методов створных измерений с целью оценки применимости этих методов для геодезического мониторинга протяженных объектов // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле» № 03-04-2011.
2. *Кухта А.В.* Метод непрерывного контроля геометрических параметров протяженных объектов // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле» № 03-04-2011.

05.02.08

П.О. Румянцев, А.Ф. Емельянов д.т.н.

Снежинский физико-технический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», механико-машиностроительный факультет, кафедра технологии машиностроения, Снежинск, porumyantsev@mephi.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СОСТАВА ПСМ-2 ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

В Снежинском физико-техническом институте НИЯУ «МИФИ» проводятся научные исследования механической обработки высокоэнергетических материалов в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Предметом исследований является построение математической модели, описывающей изменение температуры в зоне резания при механической обработке имитатора высокоэнергетического материала – состава ПСМ-2, твердосплавным режущим инструментом в виде неперетачиваемой режущей пластины (РП). Данная работа предполагает кроме большой экспериментальной составляющей создание математической модели, которая позволяла бы оценивать температуру в зоне резания для возможно более широкого диапазона основных параметров процесса резания, так как именно температура является критерием безопасности при работе с данными материалами.

Ключевые слова: *высокоэнергетический материал, механическая обработка, резание, твердосплавный инструмент, температура резания.*

Состав ПСМ-2 – имитатор высокоэнергетического материала – представляет собой смесь полистирола (32%) с меламином (68%). Заготовки получают методом изостатического горячего прессования.

В литературе по теории резания [3] можно встретить эмпирические зависимости, связывающие температуру, образующуюся в зоне резания и основные параметры процесса резания вида (1):

$$\theta = C_\theta \cdot V^z \cdot S^y \cdot t^x. \quad (1)$$

Уравнения данного вида соответствуют конкретным режимам резания и конкретной паре «обрабатываемый материал – инструментальный материал». Пример таких зависимостей показан в таблице 1 [3].

Математическая модель должна сочетать общность получаемых результатов, что присуще теоретическим методам исследований и высокую достоверность, что является отличительной особенностью экспериментальных методов исследований.

Таблица 1 – Расчётные зависимости для определения температуры при резании пластмасс

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Режимы резания			Расчётная зависимость θ, °С
			V, м/с	S, мм/об	t, мм	
Точение	ПТФЭ	ВК8	0.3-8.3	0.1-.05	0.1-2	$6540 \cdot V^{0.09} \cdot S^{0.04} \cdot t^{0.1}$
	Винипласт	ВК8	0.3-8.3	0.1-0.5	0.1-2	$7570 \cdot V^{0.1} \cdot S^{0.05} \cdot t^{0.17}$
	НАМИ-ФБМ	Т15К6	0.4-6.7	0.02-0.3	0.2-1	$930 \cdot V^{0.28} \cdot S^{0.05} \cdot t^{0.09}$
	Органическое стекло	ВК8	0.3-3.3	0.2-0.5	0.2-1	$9612 \cdot V^{0.11} \cdot S^{0.05} \cdot t^{0.2}$
	Текстолит ПТК	ВК8	2.5-16.5	0.05-1	0.5-5	$9000 \cdot V^{0.18} \cdot S^{0.1} \cdot t^{0.1}$
	Стеклотекстолит СТ	ВК2	0.3-8.3	0.05-0.5	0.5-5	$1680 \cdot V^{0.42} \cdot S^{0.36} \cdot t^{0.27}$

В основу математической модели положена теория подобия [2]. Расчёт параметров процесса резания по зависимостям, построенным на основании теории подобия, дает хорошее качественное и удовлетворительное количественное совпадение с экспериментом при различных условиях обработки [1]. При обработке состава ПСМ-2 твердосплавной РП рассматривается случай несвободного резания, поскольку помимо главной режущей кромки в резании участвует переходная кромка (радиусная).

За основу модели взаимодействия РП и обрабатываемой детали принята модель зоны резания, приведенная в работе [1], в которой рассматриваются два случая: 1) в работе принимает участие прямолинейная главная режущая кромка и переходная радиусная кромка (рисунок 1, а); 2) в работе принимает участие радиусная переходная кромка (рисунок 1, б). Для рассматриваемых РП характерны оба случая.

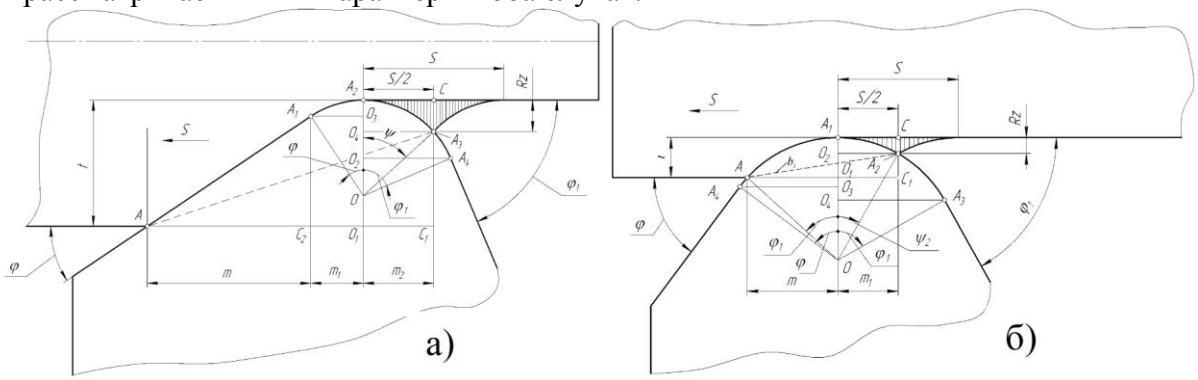


Рис. 1.

Для схем несвободного резания могут быть предложены аналитические выражения для определения ширины и толщины среза, а также суммарной длины режущих кромок.

Расчётные зависимости для определения ширины среза.

Для схемы 1:
$$b_1 = \frac{t - r\left[1 - \sqrt{1 - (s/2r)^2}\right]}{\sin \operatorname{arctg} \dfrac{t - r\left[1 - \sqrt{1 - (s/2r)^2}\right]}{t \cdot \operatorname{ctg}\varphi\left[1 - r(1 - \cos\varphi)/t\right] + r\sin\varphi + 0{,}5s}}. \quad (1)$$

Для схемы 2:
$$b_1 = \frac{t\left(1 - 0{,}125(s/r)^2 \cdot t/r\right)}{\sin \operatorname{arctg} \dfrac{1 - 0{,}125(s/r)^2 \cdot t/r}{\sqrt{2r/t - 1} + 0{,}5(r/t) \cdot s/r}}. \quad (2)$$

Ниже представлены расчетные параметры, которые входят в температурные модели с учетом специфики представленных геометрических схем взаимодействия инструмента и заготовки.

Для схемы 1:

$$b_1/t = 1{,}41 \cdot (r/t)^{0,25} \cdot (s/r)^{0,03} \cdot \sin^{-0,86}\varphi. \quad (3)$$

$$a_1 = s \cdot t/b_1 = 0{,}71 \cdot S \cdot (r/t)^{-0,25} \cdot (s/r)^{-0,03} \cdot \sin^{0,86}\varphi. \quad (4)$$

$$b/t = 1{,}55 \cdot (r/t)^{0,28} \cdot (s/r)^{0,03} \cdot \sin^{-0,71}\varphi. \quad (5)$$

Для схемы 2:

$$b_1/t = 1{,}58 \cdot (r/t)^{0,65} \cdot (s/r)^{0,085}. \quad (6)$$

$$a_1 = s\,t/b_1 = 0{,}63 \cdot s \cdot (r/t)^{-0,65} \cdot (s/r)^{-0,085}. \quad (7)$$

$$b/r = 1{,}77 \cdot (t/r)^{0,42} \cdot (s/r)^{0,09}. \quad (8)$$

При обработке резанием в очаге деформации – между условной плоскостью сдвига и передней поверхностью инструмента – создаётся напряженно-деформированное состояние материала, который под действием возникающих напряжений переводится в пластическое состояние. Пластическая деформация сопровождается возникновением силы сопротивления движению инструмента в материале. Кроме того, при взаимодействии передней поверхности резца со стружкой, а задней – с обрабатываемой деталью, возникают силы внешнего трения, которые вместе с силами внутреннего трения составляют геометрическую сумму, называемую силой резания.

Температура в условной плоскости сдвига

В работе [1] показывается, что во многих случаях для практических целей для определения средней температуры в плоскости сдвига можно использовать следующую зависимость:

$$\bar{\theta}_A = \frac{\tau_P}{B \cdot c\rho}\left[erf\sqrt{\frac{Pe \cdot B}{4}} - \frac{2\left(1 - erf\sqrt{Pe \cdot B/4}\right)}{R \cdot \mathrm{ctg}\varphi + \frac{1-\cos\varphi}{\sin\varphi} + 0{,}5S} \right]. \quad (9)$$

где $R = t/r$, $S = s/r$, $Pe = V \cdot a_1/a$; $B = \mathrm{tg}\beta_1$ – безразмерные комплексы,

β_1 – угол наклона условной плоскости сдвига

τ_P – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, Н/м^2.

$c\rho$ – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/м^3·град;

$erf(x) = 1 - \frac{\exp(-x^2)}{x\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{1 \cdot 3}{2^2 \cdot x^4} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2^3 \cdot x^6} + \ldots\right)$ – функция Крампа.

При значениях $Pe{\cdot}B$>15 средняя температура в плоскости сдвига становится равной максимальной температуре:

$$\bar{\theta}_A = \theta_A^{\max} = \frac{\tau_P}{B_0 \cdot c\rho}, \quad (10)$$

где B_0 – тангенс угла наклона условной плоскости сдвига.

Температура трения на задней поверхности инструмента

Полное значение температуры на задней поверхности инструмента будет являться суммой температуры трения по задней поверхности и температуры первичных пластических деформаций, протекающих впереди резца [1].

Температура трения на задней поверхности РП:

$$\theta_{TP} = \frac{1,6\tau_P}{c\rho} \cdot \frac{Pe^{0,63} E^{0,55} B^{0,28} \cos^6 \alpha}{F^{0,15} D^{0,06}} \times$$
$$\times \left[1 - \frac{55}{\sqrt{Pe}} \cdot \left(\frac{0,6Z}{0,7 \cdot R^{0,81} S^{-0,08} \cdot \varphi^{-0,85} + 0,3} + 0,3 \right)^4 \right] \cdot \sqrt{\frac{x}{\Delta}} \cdot \left(1 - \frac{2x}{3\Delta} \right), \quad (11)$$

где $E = \rho_1 / a_1$ – критерий, характеризующий степень влияния остроты кромки инструмента и режимного параметра a_1; $D = a_1 / b_1$ – критерий, характеризующий геометрию сечения среза; $F = \frac{\lambda_P}{\lambda} \beta\varepsilon$ – критерий, отражающий влияние геометрии инструмента и отношение теплопроводностей инструментального и обрабатываемого материалов; ρ_1 – радиус скругления режущей кромки; ε – угол при вершине резца в плане; β – угол заострения; α – задний угол резца; φ – главный угол в плане; Δ – величина контакта по задней поверхности инструмента.

Переменная вдоль задней контактной площадки температура первичных пластических деформаций, протекающих впереди резца, определяется выражением (12).

$$\theta_D = \theta_A \cdot \left(0,5 + 0,25 \cdot \frac{\sin^{0,25} \alpha}{B^{1,25} \sqrt{Pe \cdot E \cdot x / \Delta}} \right), \quad (12)$$

где θ_A определяется выражением (9).

Средняя контактная температура $\bar{\theta}_з$ на участке Δ определяется выражением (13).

$$\bar{\theta}_З = \frac{\tau_P}{2Bc\rho} \cdot \left[erf \sqrt{\frac{Pe \cdot B}{4}} - \frac{2\left(1 - erf \sqrt{Pe \cdot B/4}\right)}{R\mathrm{ctg}\varphi + 0,5S + (1 - \cos\varphi)/\sin\varphi} \right] \times$$
$$\times \left\{ 1 + \frac{0,57}{\sqrt{PeE} B^{1,25} \cos^5 \alpha} + \frac{Pe^{0,63} B^{1,28} E^{0,55} \cos^6 \alpha}{F^{0,15} D^{0,06} e^{1/2\sqrt{Pe}} R^{1/2\sqrt{PeR}} \cos^{0,1} \varphi \cdot S^{0,01}} \times \right.$$
$$\left. \times \frac{1,3}{\left[erf \sqrt{PeB/4} - \frac{2\left(1 - erf \sqrt{PeB/4}\right)}{R\mathrm{ctg}\varphi + 0,5S + (1 - \cos\varphi)/\sin\varphi} \right]} \right\}. \quad (13)$$

Температура на передней поверхности инструмента

Температура на передней поверхности инструмента определяется изменением температур, возникающих в условной плоскости сдвига, а также температурой трения и вторичных пластических деформаций [1]:

$$\theta_П = \theta_A + 0,9675 \cdot \frac{n' \tau_P \sqrt{Pe}}{c\rho} \cdot \sqrt{1 + \frac{1 - B\mathrm{ctg}\gamma}{B + \mathrm{ctg}\gamma}} \cdot \sqrt{x / l_0}, \text{ при } 0 \le x \le l_0 \quad (14)$$

$$\theta_П = \theta_A + 0,9675 \cdot \frac{n' \tau_P \sqrt{Pe}}{c\rho} \cdot \sqrt{1 + \frac{1 - B\mathrm{ctg}\gamma}{B + \mathrm{ctg}\gamma}} \cdot (l_0 / x)^{0,6}, \text{ при } l_0 \le x \le l \quad (15)$$

где θ_A определяется выражением (9); l_0 – длина участка пластического контакта стружки с передней поверхностью инструмента; l – общая длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента; γ – передний угол резца;

$$n' = \frac{\sqrt{Pe}\cdot B^{0,3}\left[\cos\gamma+\sin\gamma-B\left(\cos\gamma-\sin\gamma\right)^{0,3}\right]}{\sqrt{Pe}\cdot B^{0,3}\left[\cos\gamma+\sin\gamma-B\left(\cos\gamma-\sin\gamma\right)^{0,3}\right]+0,25FD^{0,3}\sqrt{\cos\gamma+B\sin\gamma}}.$$

В таблице 2 приведены параметры, принятые за исходные данные, а также параметры, вычисляемые в результате расчёта (их числовые значения выделены в таблице). Принятые режимы резания: *V=25 м/мин, s=0,2 мм/об, t=1 мм.* Расчет проведен для пластины Garant CCMT120404 VM HB7135.

Полученные расчетом значения температуры бут сравниваться с экспериментальными данными, которые будут получены при дальнейших исследованиях.

Таблица 2

Параметр	Размерность	Значение	Параметр	Размерность	Значение
τ_p	Н/м^2	$46.2\cdot10^7$	R	-	**2.5**
B	-	**0.577**	$x=\sqrt{\frac{Pe\cdot B}{4}}$	-	**6.38**
β_1	градус	30	α	градус	7
c	Дж/(кг·°С)	1148	α	радиан	0.122
ρ	кг/м^3	1340	ε	градус	80
$c\rho$	Дж/(м^3·°С)	**1538320**	ε	радиан	1.396
Pe	-	**$2.82\cdot10^2$**	ρ_1	м	10^{-5}
a	м^2/с	**$2.68\cdot10^{-7}$**	E	-	**$5.51\cdot10^{-2}$**
a_1	м	**$1.82\cdot10^{-4}$**	$\lambda_р$	Дж/(м·с·°С)	54
b_1	м	**$1.1\cdot10^{-3}$**	λ	Дж/(м·с·°С)	0.4
V	м/мин	25	β	градус	83
V	м/с	**0.4167**	β	радиан	1.45
s	м/об	$2\cdot10^{-4}$	γ	градус	0
t	м	10^{-3}	γ	радиан	0
r	м	$4\cdot10^{-4}$	D	-	**0.165**
φ	градус	95	F	-	**273.059**
φ	радиан	1.66	n'	-	**0.132**
S	-	0.5	$\overline{\theta}_A$	°С	**52**
$erf(x)$	-	1	$\overline{\theta}_З$	°С	**33.8**
			$\theta_{П\,max}$	°С	**93.9**

Список литературы

1. *Рыкунов А.Н.* Трехмерная температурная модель процесса несвободного резания и оптимизация на её основе режимных факторов при точении труднообрабатываемых материалов твердосплавным инструментом с учетом износостойкости покрытий: Дис...канд. техн. наук по спец. 05.03.01.– М., 1984. – 203 с.

2. *Силин С.С.* Метод подобия при резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.

3. *Штучный Б.П.* Механическая обработка пластмасс: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.

05.02.08

П.О. Румянцев, А.Ф. Емельянов д.т.н.

Снежинский физико-технический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», механико-машиностроительный факультет, кафедра технологии машиностроения, Снежинск, porumyantsev@mephi.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Выполнено компьютерное моделирование процесса токарной обработки твердосплавными пластинами заготовок из полимерного материала. Проведён анализ результатов компьютерного моделирования и результатов экспериментальных исследований температуры в зоне резания.

Ключевые слова: *высокоэнергетический материал, механическая обработка, резание, твердосплавный инструмент, температура резания, моделирование температуры.*

Данные исследования проводятся в рамках проекта «Исследование параметров технологического процесса механической обработки высокоэнергетических материалов атомной техники» Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Для решения задачи анализа теплофизических процессов, происходящих в зоне резания при механической обработке, была сделана попытка моделирования данного процесса с помощью программного комплекса DEFORM-3D. Программный комплекс DEFORM-3D является конечно-элементной компьютерной системой моделирования процессов обработки материалов давлением, резанием, а также термической обработки. Моделирование механической обработки в программном комплексе DEFORM-3D предполагает последовательное выполнение следующих шагов: 1) выбор вида механической обработки; 2) задание параметров режима резания; 3) задание параметров теплообмена; 4) выбор режущего инструмента; 5) размещение инструмента в системе координат; 6) определение материала инструмента; 7) выбор инструментальной державки; 8) разбиение инструмента на конечные элементы; 9) определение геометрии обрабатываемой заготовки; 10) разбиение заготовки на конечные элементы; 11) определение материала заготовки; 12) генерация базы данных для решения задачи моделирования.

Проводимые исследования носят прикладной характер. Одной из задач исследований является анализ теплофизических явлений в зоне резания режущими пластинами производителей KORLOY и Hoffmann Group. Поэтому, предварительно было проведено твердотельное моделирование режущих пластин для возможности последующего импорта их геометрии программным комплексом DEFORM-3D. Пластины моделировались в среде Pro Engineer, затем данные экспортировались в файл формата STL. Следует отметить очень сложный характер геометрии режущих пластин, однако твердотельные модели полностью соответствуют реальным аналогам пластин.

Программный комплекс DEFORM-3D позволяет достаточно детально подойти к процессу моделирования. В частности имеется возможность определить параметры покрытия режущей пластины: задаются количество слоёв покрытия, материал и толщина каждого слоя (рисунок 1).

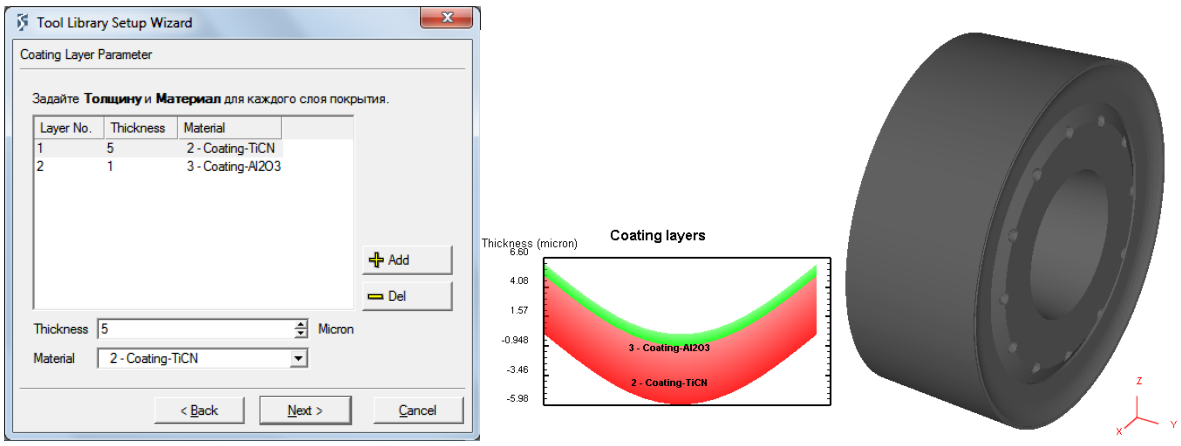


Рис. 1 – Задание параметров покрытия пластины RCMX 1204M0 NC6110

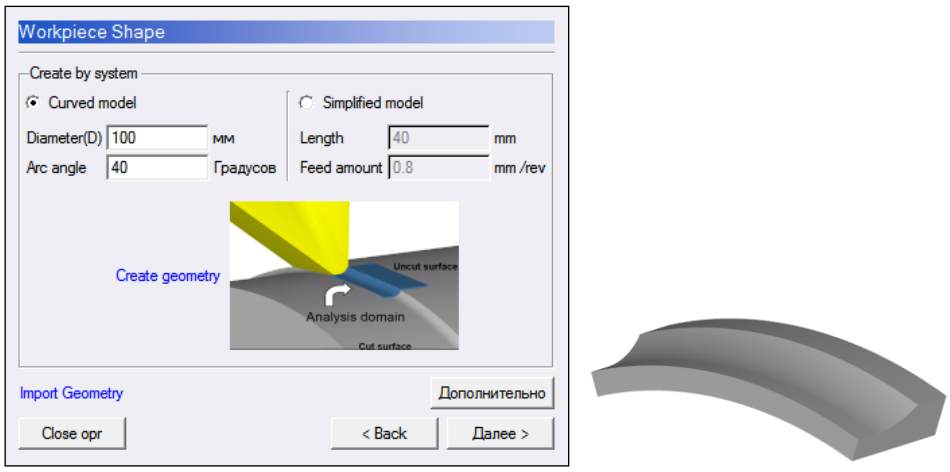


Рис. 2 –Окно задания параметров формы фрагмента заготовки, контактирующего с режущей кромкой инструмента в процессе резания и сама модель фрагмента

Модуль Machining-3D программного комплекса DEFORM-3D выполняет автоматическое построение фрагмента обрабатываемой заготовки непосредственно контактирующего с инструментом (рисунок 2). Это упрощает процесс моделирования. Вместе с тем пользователь имеет возможность импорта геометрии всей заготовки, предварительно полученной в любой программе твердотельного моделирования и экспортированной в формат STL.

При разбиении на конечные элементы, как режущей пластины, так и заготовки DEFORM-3D использует тетраэдрическую сетку.

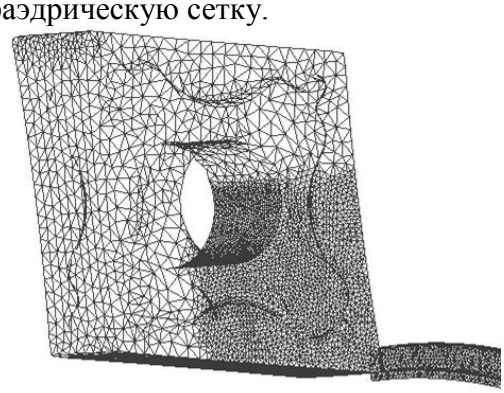


Рис. 3 – Конечно-элементная модель пластины CNMG 120404-HA H01 и фрагмента заготовки

Плотность сетки определяет пользователь, задавая общее количество элементов, либо размер наименьшего элемента. Коэффициент отношения размеров наибольшего и наименьшего элементов позволяет уплотнить сетку в месте контакта пластины и заготовки,

что упрощает конечно-элементную модель в целом и снижает время расчёта. На рисунке 3 показан пример конечно-элементной модели режущей пластины с использованием коэффициента отношения при построении сетки.

Для моделирования процесса резания выбирались различные режимы. Предельные значения режимов: скорость резания 200 м/мин, подача 0,8 мм/об, глубина резания 2 мм.

На рисунке 4 представлены результаты моделирования процесса резания с режимами V=200 м/мин, t=1 мм, S=0,1 мм/об пластиной CNMG 120404-HA H01 заготовки из состава ПСМ-2. Материал пластины карбид вольфрама, пластина без покрытия. Характеристики материала ПСМ-2 показаны в таблице 1.

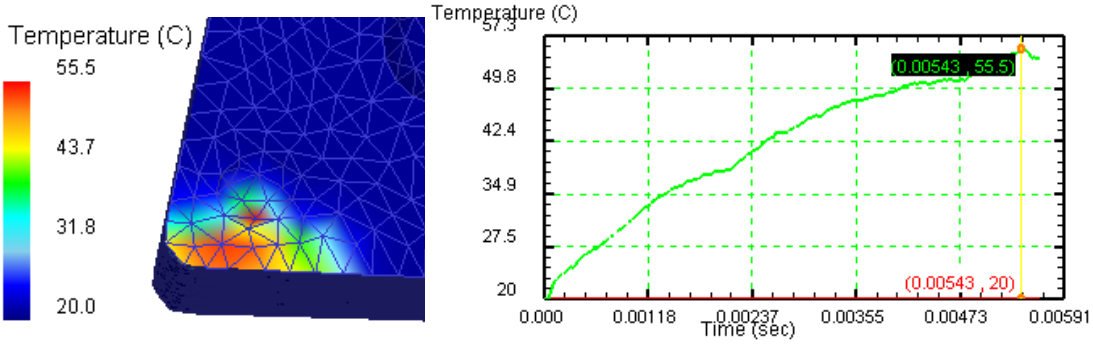


Рис. 4 – Температурное поле на передней поверхности пластины.

Таблица 1 – Характеристики состава ПСМ-2

Плотность, г/см^3	1.361...1.365	Модуль упругости при сжатии, МПа	2434.58... 2459.79
Предел прочности при сжатии, МПа	78.90...92.47	Относительная деформация, %	3.80...4.06
Предел прочности при раскалывании, МПа	14.48...17.00		

Остальные параметры моделируемого процесса: диаметр заготовки 100 мм; температура окружающей среды 20 °С; коэффициент конвекции 0,02 Н/с/мм/°С; коэффициент трения 0,4 [1]; коэффициент теплообмена 45 Н/с/мм/°С.

Параллельно проводились экспериментальные исследования температуры в зоне резания. Температура фиксировалась тепловизором FLIR E45: видеосигнал записывался на персональный компьютер устройством видеозахвата EasyCAM, файлы термограмм записывались во внутреннюю память тепловизора.

Термограмма для процесса обработки заготовки из ПСМ-2 пластиной CNMG 120404-HA H01 с режимами V=200 м/мин, t=1 мм, S=0,1 мм/об показана на рисунке 5.

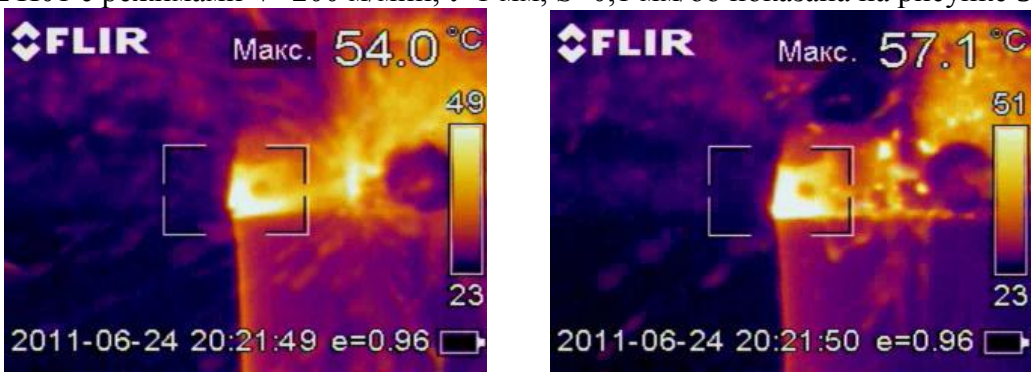


Рис. 5 – Термограмма процесса резания

Сравнение результатов моделирования процесса токарной обработки в программном комплексе DEFORM-3D и проведённых экспериментов позволяет сделать следующие выводы.

1) Построенная модель адекватно отражает порядок температуры, возникающей в зоне резания: максимальная температура модели на передней поверхности пластины 55 °С, максимальная температура зафиксированная на термограмме 57,1 °С.

2) Термограмма показывает температурное поле, которое создаётся стружкой, выходящей из зоны резания и частично передней поверхностью пластины. По данным [2] примерный баланс теплоты при обработке термопластов следующий: 57% - в стружку, 19% - в заготовку, 24% - в инструмент. По термограмме наибольшую температуру имеет стружка. Температура стружки компьютерной модели не превышает 23,7 °С.

3) Общей закономерностью процесса резания пластмасс и его особенностью по сравнению с резанием металлов является большое количество теплоты, уходящей в инструмент [2]. При компьютерном моделировании наибольшую температуру получили на передней поверхности пластины (рисунок 4).

4) На основании анализа результатов компьютерного моделирования и результатов экспериментальных исследований требуется уточнение теплофизических параметров материала ПСМ-2 с целью построения адекватной математической модели процесса механической обработки и проверка модели для других сочетаний режимов резания.

Список литературы

1. *Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В.* Трение и износ полимеров. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
2. *Штучный Б.П.* Механическая обработка пластмасс: Справочник. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. - 152 с.

05.02.10

Ю.Х. Сагитов к.ф.-м.н.

Тольяттинский государственный университет,
Институт математики, физики и информационных технологий,
Кафедра «Общая и теоретическая физика»,
Тольятти, sagitov.yura@yandex.ru

ФОРМУЛА РЫКАЛИНА Н.Н. ДЛЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА ОТ ПОДВИЖНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

В данной статье формула температуры в избранных точках исследуемого тела, которая задаётся подвижным точечным источником тепла, принимает компактный вид, что позволяет при необходимости применить очевидные методы её анализа; определяются ограничения на применимость предложенного метода, а также выявляются причины их возникновения.

Ключевые слова*: формула Рыкалина для температуры, подвижный точечный источник тепла, несобственный интеграл, «свёртка» формулы Рыкалина.*

Введение

Температура в момент времени t в точке с координатами $x \geq 0$, $y \geq 0$, $0 \leq z \leq \delta$, создаваемая подвижным точечным источником тепла, вычисляется по известной формуле [1, с. 186, ф. 6.46]

$$T = \frac{q}{4 \cdot c \cdot \rho \cdot (\pi \cdot a)^{3/2}} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_0^t \exp\left\{ -\frac{(z - 2 \cdot n \cdot \delta)^2 + (x - \upsilon \cdot t)^2 + y^2}{4 \cdot a \cdot t} \right\} \cdot t^{-3/2} \cdot dt, \qquad (1)$$

где q – мощность точечного источника; c, ρ, a – удельная теплоёмкость, плотность и коэффициент температуропроводности металла; δ – толщина металла. Расположение системы координат и направление скорости показаны на рис. 1.

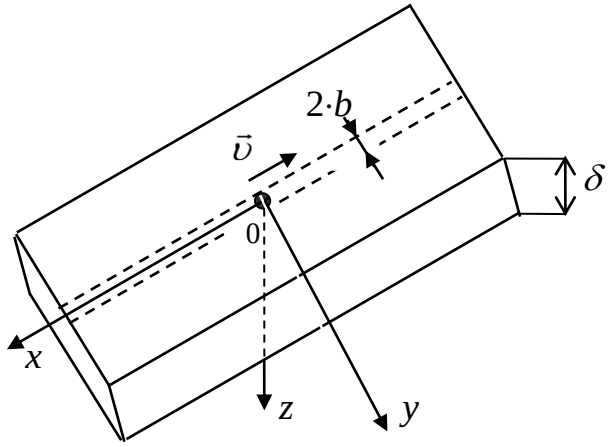


Рис. 1.

Ниже будут приведены и обоснованы условия, при которых данную формулу можно «свернуть» к компактному виду, который, кроме всего прочего, гораздо проще подвергать анализу.

Температура от подвижного точечного источника тепла

Несколько преобразуем формулу (1)

$$T=\frac{q\cdot\exp\left(\frac{\upsilon\cdot x}{2\cdot a}\right)}{4\cdot c\cdot\rho\cdot(\pi\cdot a)^{3/2}}\cdot\sum_{n=-\infty}^{\infty}\int_0^t\exp\left\{-\frac{\upsilon^2}{4\cdot a}\cdot t-\frac{(z-2\cdot n\cdot\delta)^2+x^2+y^2}{4\cdot a\cdot t}\right\}\cdot t^{-3/2}\cdot dt.$$

Подынтегральные функции – это быстро спадающие функции, причём при $t \geq 7$ *с*, они фактически равны нулю, т.е. практически это условие, когда процесс сварки становится установившимся. Данное свойство подынтегральных функций позволяет применить следующее приближение

$$\int_0^t f(t)\cdot dt\cong\int_0^\infty f(t)\cdot dt,$$

что, в свою очередь, даёт возможность использовать табличную формулу [2, с. 344, ф.2.3.16.3.]

$$\int_0^\infty x^{-3/2}\cdot\exp(-p\cdot x-q/x)\cdot dx=\sqrt{\frac{\pi}{q}}\cdot\exp\left(-2\cdot\sqrt{p\cdot q}\right).$$

В итоге

$$T=\frac{q\cdot\exp\left(\frac{\upsilon\cdot x}{2\cdot a}\right)}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a}\cdot\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{(z-2\cdot n\cdot\delta)^2+x^2+y^2}\right]}{\sqrt{(z-2\cdot n\cdot\delta)^2+x^2+y^2}}. \qquad (2)$$

Представим полученный результат в следующем виде

$$T=\frac{q\cdot\exp\left(\frac{\upsilon\cdot x}{2\cdot a}\right)}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a}\cdot\left\{\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{z^2+x^2+y^2}\right]}{\sqrt{z^2+x^2+y^2}}+F_+ + F_-\right\}, \qquad (3)$$

где

$$F_\pm=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}\right]}{\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}}.$$

Анализируя формулу (3) определяем второе ограничение на предлагаемый метод: все три пространственные координаты не могут одновременно равняться нулю, что означает о невозможности определить температуру в месте нахождения точечного источника. Данное ограничение определяется следующим фактом

$$\int_0^t\exp\left\{-\frac{\upsilon^2}{4\cdot a}\cdot t-\frac{(z-2\cdot n\cdot\delta)^2+x^2+y^2}{4\cdot a\cdot t}\right\}\cdot t^{-3/2}\cdot dt\underset{x=y=z=0,}{\Rightarrow}$$

$$\underset{n=0,t\to\infty}{\Rightarrow}\int_0^\infty\exp\left(-\frac{\upsilon^2}{4\cdot a}\cdot t\right)\cdot t^{-3/2}\cdot dt\Rightarrow\infty.$$

Очевидно, что особым является случай, когда $x = y = 0$, т.е.

$$T=\frac{q}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a}\cdot\left\{\frac{\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot z}{2\cdot a}\right)}{z}+\sum_{\pm}\left(\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]}{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}\right)\right\}. \qquad (4)$$

Внешняя сумма в (4) – это сложение двух слагаемых, отличающихся знаками внутри скобок.

Внутреннюю сумму представим в виде

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]}{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}=-\int\frac{\exp\left(\mp\frac{\upsilon\cdot z}{2\cdot a}\right)}{2\cdot a}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot n\cdot\delta}{a}\right)\cdot d\upsilon.$$

Если к сумме прибавить единицу, то имеем бесконечную геометрическую прогрессию, поэтому

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]}{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}=-\int\frac{\exp\left(\mp\frac{\upsilon\cdot z}{2\cdot a}\right)}{2\cdot a}\cdot\left[\frac{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}-1\right]\cdot d\upsilon,$$

или

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]}{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}=\frac{-1}{2\cdot a}\int\exp\left(\mp\frac{\upsilon\cdot z}{2\cdot a}\right)\cdot\left[\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1\right]^{-1}\cdot d\upsilon.$$

С точки зрения исследования процесса сварки с помощью подвижного точечного источника тепла важной является информация о температуре на обратной стороне металла под источником, т.е. когда $z=\delta$, тогда

$$\begin{cases}\frac{1}{2\cdot a}\cdot\int\frac{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}\cdot d\upsilon=\frac{1}{\delta}\cdot\int\frac{d\left[\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)\right]}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}=\frac{1}{\delta}\cdot\int\frac{d\xi}{\xi^2-1}\\ \frac{1}{2\cdot a}\cdot\int\frac{\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}\cdot d\upsilon=\frac{1}{\delta}\cdot\int\frac{d\left[\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)\right]}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)\cdot\left[\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1\right]}=\frac{1}{\delta}\cdot\int\frac{d\xi}{\xi^2\cdot(\xi^2-1)}\end{cases}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow\begin{cases}-\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\ell n\left|\frac{1+\xi}{1-\xi}\right|=-\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\ell n\left|\frac{1+\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}{1-\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}\right|\\ \frac{1}{\xi\cdot\delta}-\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\ell n\left|\frac{1+\xi}{1-\xi}\right|=\frac{1}{\delta\cdot\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}-\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\ell n\left|\frac{1+\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}{1-\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}\right|\end{cases}. \qquad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим окончательный результат для вычисления температуры в указанной точке

$$T=\frac{q}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a\cdot\delta}\cdot\ell n\left|\frac{1+\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}{1-\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{2\cdot a}\right)}\right|=\frac{q}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a\cdot\delta}\cdot\ell n\left[cth\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{4\cdot a}\right)\right].$$

Перейдём к исследованию формулы (2) для более общего случая, т.е. когда как минимум хотя бы одна из переменных x или y отличались от нуля

$$T=\frac{q\cdot\exp\left(\frac{\upsilon\cdot x}{2\cdot a}\right)}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a}\cdot\left\{\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{z^2+x^2+y^2}\right]}{\sqrt{z^2+x^2+y^2}}+S_+ + S_- + F_+ + F_-\right\},$$

где

$$\begin{cases} S_\pm=\sum\limits_{n=1}^{N-1}\dfrac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}\right]}{\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}} \\ F_\pm=\sum\limits_{n=N}^{\infty}\dfrac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}\right]}{\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}} \end{cases}. \qquad (6)$$

Натуральное число N – это число, начиная которого будет выполняться следующее условие

$$(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2>>x^2+y^2, \qquad (7)$$

в следствие, чего

$$\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)^2+x^2+y^2}\approx(2\cdot n\cdot\delta\pm z),$$

поэтому

$$F_\pm=\sum_{n=N}^{\infty}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]}{(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}.$$

Используем табличную формулу для неопределённого интеграла от экспоненты, а затем поменяем местами интеграл и сумму, что возможно из-за того, что ряд сходящийся а функции непрерывные,

$$F_\pm=-\frac{1}{2\cdot a}\cdot\int\sum_{n=N}^{\infty}\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot n\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]\cdot d\upsilon.$$

Преобразуем выражение таким образом, чтобы суммирование начиналось с нуля, т.е.

$$F_\pm=-\frac{1}{2\cdot a}\cdot\int\sum_{n=0}^{\infty}\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot[2\cdot(n+N)\cdot\delta\pm z]}{2\cdot a}\right]\cdot d\upsilon,$$

или

$$F_\pm=-\frac{1}{2\cdot a}\cdot\int\exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot N\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]\cdot\sum_{n=0}^{\infty}\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot\delta\cdot n}{a}\right)\cdot d\upsilon.$$

Сумма в данном выражении есть бесконечная геометрическая прогрессия, поэтому

$$F_{\pm} = -\frac{1}{2\cdot a}\cdot\int \exp\left[-\frac{\upsilon\cdot(2\cdot N\cdot\delta\pm z)}{2\cdot a}\right]\cdot\frac{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}\cdot d\upsilon. \qquad (8)$$

Интеграл в (8) является неопределённым и, следовательно, численные методы при его взятии не применимы, следовательно, интегрирование должно проводиться только аналитическим способом.

Перед тем, как непосредственно перейти к интегрированию, необходимо установить соотношение, определяющее величину N. Если под «много больше» (формула (7)) понимать, как больше на один порядок, то

$$N > \frac{\sqrt{10\cdot\left(x^2+y^2\right)}+z}{2\cdot\delta}. \qquad (9)$$

Округление нужно проводить до целого числа, в большую сторону.

Перейдём к определению температуры в очень важной точке – вблизи точечного источника на краю сварного шва, т.е. когда $x = z = 0$, $y = b$, где b – полуширина сварного шва. Тогда, с учётом (6),

$$S_{+} = S_{-} = \sum_{n=1}^{N-1}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta)^2+b^2}\right]}{\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta)^2+b^2}},$$

$$F_{+} = F_{-} = -\frac{1}{2\cdot a}\cdot\int \exp\left[-\frac{\upsilon\cdot N\cdot\delta}{a}\right]\cdot\frac{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}\cdot d\upsilon. \qquad (10)$$

В (10) введём замену переменных $\xi = \exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)$

$$F_{\pm} = -\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\int\frac{\xi}{\xi^N\cdot(\xi-1)}\cdot d\xi = -\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\int\frac{\xi^{-(N-1)}}{(\xi-1)}\cdot d\xi = -\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\left[\ell n\left|\frac{\xi-1}{\xi}\right|+\right.$$

$$\left.+\sum_{n=1}^{N-2}\frac{1}{n\cdot\xi^n}\right] = -\frac{1}{2\cdot\delta}\cdot\left[\ell n\left|\frac{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1}{\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)}\right|+\sum_{n=1}^{N-2}\frac{\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot\delta\cdot n}{a}\right)}{n}\right].$$

В итоге, для данной точки, имеем следующий результат

$$T = \frac{q}{2\cdot c\cdot\rho\cdot\pi\cdot a}\cdot\left\{\frac{\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot b}{2\cdot a}\right)}{b}+2\cdot\sum_{n=1}^{N-1}\frac{\exp\left[-\frac{\upsilon}{2\cdot a}\cdot\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta)^2+b^2}\right]}{\sqrt{(2\cdot n\cdot\delta)^2+b^2}}+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{\delta}\cdot\left[\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}-\ell n\left[\exp\left(\frac{\upsilon\cdot\delta}{a}\right)-1\right]-\sum_{n=1}^{N-2}\frac{\exp\left(-\frac{\upsilon\cdot\delta\cdot n}{a}\right)}{n}\right]\right\}. \qquad (11)$$

Особыми являются случаи, когда $N = 1$

$$T = \frac{q}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \pi \cdot a} \cdot \left\{ \frac{\exp\left(-\frac{\upsilon \cdot b}{2 \cdot a}\right)}{b} - \frac{1}{\delta} \cdot \ell n\left[\exp\left(\frac{\upsilon \cdot \delta}{a}\right) - 1\right] \right\}$$

и, когда $N = 2$

$$T = \frac{q}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \pi \cdot a} \cdot \left\{ \frac{\exp\left(-\frac{\upsilon \cdot b}{2 \cdot a}\right)}{b} + \frac{2 \cdot \exp\left[-\frac{\upsilon}{2 \cdot a} \cdot \sqrt{(2 \cdot \delta)^2 + b^2}\right]}{\sqrt{(2 \cdot \delta)^2 + b^2}} + \frac{\upsilon}{a} - \frac{1}{\delta} \cdot \ell n\left[\exp\left(\frac{\upsilon \cdot \delta}{a}\right) - 1\right] \right\}.$$

Формулу (11) можно успешно использовать так же для вычисления υ или b, при известных значениях других величин, используя методы численного решения алгебраических уравнений, например, метод Ньютона. При вычислении b, предварительно необходимо оценить значение этой величины, затем получить оценочное значение N, а затем для полной уверенности увеличить его в два раза. Это практически никак не скажется на скорости вычислений, но повысит их точность

Заключение.

В результате проведённого исследования, известную формулу Рыкалина для двух, избранных точек, удалось свернуть к более компактному виду, благодаря чему стало возможным проводить с гораздо меньшими сложностями необходимый анализ. Следует отметить, что представленный метод применим для точки тела с произвольными значениями координат (в пределах их области определения), для чего необходимо использовать алгоритм из второго выше приведённого примера.

Список литературы

1. *Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А. и др.*; под редакцией *Фролова В.В.* Теория сварочных процессов – М.: Высшая школа, 1988, 560 с.
2. *Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И.* Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981, 800 с.

05.23.01

И.М. Селянцев

МГСУ, ИСА, факультет ПГС, кафедра Металлических Конструкций,
Москва, iselyantsev@nepso.ru

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

Представлены результаты численного исследования влияния деформирования контура поперечного сечения на работу тонкостенных стержней открытого профиля. Даны экспериментальные результаты моментов инерции на чистое кручение для указанных стержней. Оценена погрешность определения углов поворота стержней с недеформируемым контуром (теория Власова В.З.) при различных условиях закрепления концов стержня.. Определён диапазон стержней $kl = \sqrt{\frac{G\,Jt}{E\,Jw}}\,l$ *, в котором не учёт факта деформации контура поперечного сечения стержня, приводит к допустимой, с инженерной точки зрения, погрешности вычисления углов поворота сечения стержня.*

Ключевые слова: *ЛСТК, чистое кручение, стеснённое кручение*.

В последнее время при строительстве малоэтажных зданий, все большую популярность завоевывают конструкции из легких гнутых стальных тонкостенных профилей.

Характерной особенностью использования гнутых тонкостенных профилей в подобных конструкциях является необходимость учета не только продольных и изгибных деформаций, но также и деформаций кручения.

На данный момент практикуется два подхода к расчету конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля. Один из них основан на теории тонкостенного стержня разработанной В.З. Власовым, другой, основан на прикладной теории закритической несущей способности. При использовании первого подхода контур поперечного сечения тонкостенного профиля считается недеформируемым, во втором случае расчет ведется после потери стенкой или полками местной устойчивости. Оба подхода не учитывают для гнутых стальных тонкостенных профилей возможность, постепенного изменения формы своего поперечного сечения пропорционально действующей на него нагрузке.

В связи с этим необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния на работу тонкостенных профилей деформации контура поперечного сечения.

Прежде всего, необходимо выяснить диапазон жесткостных характеристик и длин профилей, в котором факт неучёта деформаций контура поперечного сечения приводит к существенной с инженерной точки зрения погрешности в вычислениях. Также нужно оценить влияние на искривления контура наложенных на него связей и типа приложенной нагрузки.

На первом этапе была проведена серия натурных экспериментов на чистое кручение ряда профилей, что позволило уточнить моменты инерции на чистое кручение J_t тонкостенных сечений открытого профиля.

Испытательная установка (рис.1) сконструирована таким образом, чтобы поворот сечений стержня происходил вокруг центров изгиба сечений. При исследовании чистого кручения закрепления стержня обеспечивали свободу депланаций сечений стержня по всей его длине. В ходе эксперимента испытывались гнутые тонкостенные оцинкованные стержни компании Metsec.

«Рис.» 1- Испытательная установка на чистое кручение

В ходе испытаний (с учетом начальных прогибов стержня, что является темой отдельного исследования) для указанных стержней были получены величины моментов инерции на чистое кручение J_t, близкие к теоретическим значениям, которые могут быть вычислены по формуле:

$$I_t = \frac{1}{3}\sum b_i t_i^3 \qquad (1)$$

где b_i и t_i – ширина и толщина отдельных прямоугольников, из которых составлено сечение. В таблице 1 представлены моменты инерции при чистом кручении, определённые теоретически и экспериментально

«Таблица» 1- Результаты испытаний профилей на чистое кручение

Профиль	Стенка, мм.	Полка, мм.	Отгиб, мм.	Толщина, мм.	Длина, мм.	Jt, мм^4	Jтэксп, мм^4
142С2.0	142	60	13	2.0	4015	699	571
142С2.0	142	60	13	2.0	3005	699	640
142С2.0	142	60	13	2.0	2005	699	692
262С2.3	262	65	13	2.3	4015	1590	1875
262С2.3	262	65	13	2.3	3005	1590	1556
262С2.3	262	65	13	2.3	2005	1590	1422
262С2.9	262	65	13	2.9	4015	3187	3163
262С2.9	262	65	13	2.9	3005	3187	2722
262С2.9	262	65	13	2.9	2005	3187	2824

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о возможности использования при проектировании конструкций из гнутых стальных тонкостенных открытых профилей теоретических значений момента инерции при чистом кручении (формула 1).

С целью оценки влияния искривления контура на работу тонкостенных листержней был проведен численный эксперимент с использованием вычистельного комплекса ANSYS. Расчёты выполнены для тонкостенных швеллеров с толщиною стенки 2 и 3 мм, к которым прикладывалась крутящая нагрузка при разных граничных условиях. В дополнение к численному эксперименту запланирован ряд натурных испытаний рассчитанных швеллеров,

что позволит уточнить возможность применения использованной численной методики для расчёта подобных систем.

В численном эксперименте были использованы модели тонкостенных швеллеров составленные из оболочечных элементов. Сетка разбиения, 10 элементов по ширине полки швеллера, 20 элементов по высоте стенки швеллера и 200 элементов по длине стержня, обеспечивает достаточную точность решения.

В качестве нагрузки использовался крутящий момент, приложенный к сечению в виде распределенного по узлам поперечного сечения момента, или в виде пары сил, приложенных к полкам.

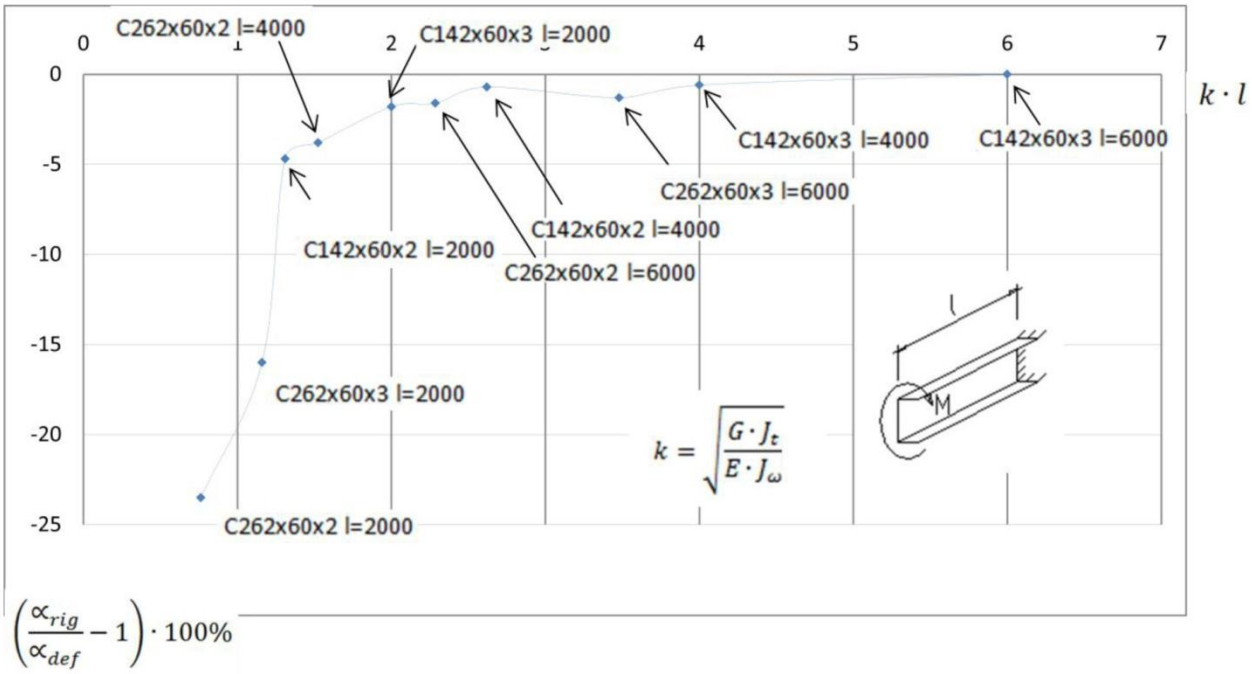
Моделировались стержни длиной 2, 4 и 6 метров с поперечным сечением в виде швеллера с отгибами (С- образное сечение). Расчёты выполнены для следующих сечений С262х60х2, С262х60х3, С142х60х2, С142х60х3, при различных типах закрепления концов стержня (размеры сечений даны в таблице 1).

Для оценки влияния искривления контура сечения на работу тонкостенных стержней при стеснённом кручении были выполнены численные исследования. Рассмотрено 3 модели. По результатам эксперимента определялась погрешность в определении угла закручивания характерного сечения стержня в виде: $\left(\frac{\alpha_{rig}}{\alpha_{def}}-1\right)100\%$, где α_{rig} - угол закручивания при отсутствии искривления контура, α_{def} - угол закручивания при искривления контура. Искомая величина откладывалась на график в соответствии с соответствующим балке параметром *kl*, где:

$$kl=\sqrt{\frac{GI_t}{EI_\omega}}\,l\,, \qquad (2)$$

где GI_t - жёсткость профиля при чистом кручении, EI_ω - жёсткость профиля при стеснённом кручении.

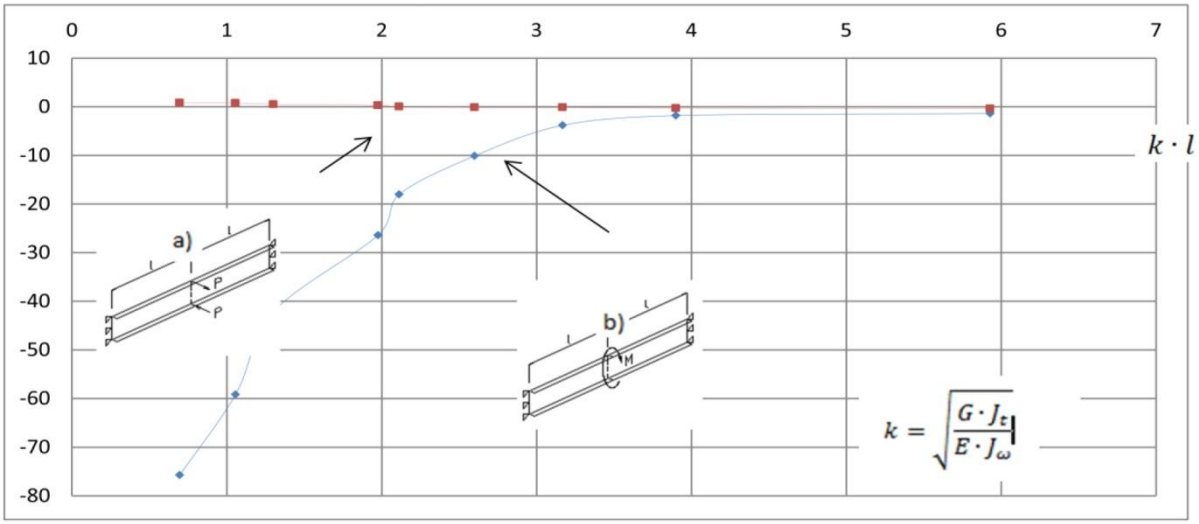
В первом численном эксперименте моделировалась работа на кручение консольной балки швеллерного сечения. На свободном конце прикладывался сосредоточенный крутящий момент. Крутящий момент распределялся поровну между узлами загруженного сечения. На рис.2 показаны результаты этого численного эксперимента.



«Рис.» 2- Влияние на угол закручивания свободного конца консоли деформации контура

Численный эксперимент показал, что деформация контура поперечного сечения существенно влияет на величину углов закручивания стержня. Не учёт появляющейся деформации контура поперечного сечения для стержней при *kl* в диапазоне от 0.7 до 1.2 приводит к занижению величины углов закручивания свободного конца консоли на величину от 5 до 25 процентов.

Во втором численном эксперименте моделировалось стесненное кручение закрепленного на концах по стенке швеллера. Рассмотрено 2 варианта приложения крутящего момента к среднему сечению балки. В виде распределенного момента, и в виде пары сил приложенных полкам модели. Результаты эксперимента показаны на рис.3.



Отношение углов поворота балки с жестким и деформируемым поперечным сечением. Балка закреплена по стенке.

$$\left(\frac{\propto_{rig}}{\propto_{def}} - 1\right) \cdot 100\%$$

«Рис.» 3- Влияние на угол закручивания середины балки деформации контура при закреплении балки по стенке

Из графика видно, что результаты сильно зависят от того как приложен крутящий момент. В случае приложения момента в виде пары сил к полкам швеллера, деформаций контура поперечного сечения швеллера не наблюдается. В случае распределенного по центральному сечению швеллера момента, деформации контура поперечного сечения вносят существенные поправки в величину углов поворота балки. В диапазоне *kl* от 0.7 до 3, пренебрежение деформацией контура поперечного сечения, приводит к недооценке углов поворота балки от 5 до 75 процентов.

В третьем эксперименте моделировалось стесненное кручение швеллера, закреплённого в крайних сечениях по нижней полке. Крутящий момент прикладывался к среднему сечению балки в виде распределенного между узлами сечения момента и в виде пары сил приложенных полкам модели. Результаты эксперимента показаны на рис.4.

«Рис.» 4- Влияние на угол закручивания середины балки деформации контура при закреплении балки по полкам

Из графика видно, что результаты не зависят от того как приложен крутящий момент. В обоих случаях, деформации контура поперечного сечения вносят существенные поправки в величину углов поворота балки. В диапазоне *kl* от 0.7 до 6, пренебрежение деформацией контура поперечного сечения, приводит к недооценке углов поворота балки от 10 до 95 процентов.

Выводы:

Результаты показывают, что при проектировании конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля необходимо учитывать деформации контура поперечного сечения стержня. Наибольшее внимание следует уделять стержням лежащим в практически важном диапазоне *kl* от 4 до 0.7. Например, для диапазона *kl* от 1.7 до 3.7 (тонкостенные стержни, используемые на практике для прогонов и стеновых прогонов), игнорирование деформации контура поперечного сечения, приводит к занижению углов поворота на 5 - 70 процентов, в зависимости от типа закрепления прогона. Практические меры по ограничению углов поворота стержня и уменьшению деформации сечения в виде установки дополнительных связей и ребер жесткости в узлах крепления стержней и месте приложения нагрузки, видятся непродуктивными, так как значительно повышают трудоемкость изготовления конструкции. Для уточнения полученных численными методами результатов подготовлена серия натурных экспериментов по испытанию на стесненное кручение тонкостенных стержней лежащих в указанном выше диапазоне *kl*.

Список литературы

1. *Власов В.З.* Тонкостенные упругие стержни.- М.: Физматгиз, 1959. 568 с.

05.13.10

А.В. Семенова

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет»,
факультет информационных технологий,
кафедра информационных систем и управления им. В.КУ. Буторина,
Новокузнецк, black_dragonfly@mail.ru

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе представлены результаты изучения формирования универсального алгоритма оценки взаимосвязи между показателем социального здоровья и показателями трудовой деятельности. Разработан алгоритм оценки показателя эффективности трудовой деятельности на основе субъективных оценок.

Ключевые слова: *социальное здоровье, интегральный показатель эффективность трудовой деятельности, факторная модель.*

Объектом исследования в работе являются алгоритмы управления показателями трудовой деятельности на основе влияния на показатели социального здоровья.

Трудоспособность является одним из прямых факторов, влияющих на производительность труда. В особенно это касается работников, занятых умственным и слабо автоматизированным трудом, производительность труда которых сложно оценить. Оценка производительности труда и ее динамики как таковой не является целью данного исследования, но может быть использована как оценка динамического состояния трудоспособности работника и показатель его трудовой деятельности.

Определенной трудностью при подготовке исследования на данную тему является разработка методики, позволяющей проанализировать и уровень социального здоровья работников вместе с факторами его формирующими, и одновременно оценить влияние социального здоровья на показатели трудовой деятельности, определить характер этой взаимосвязи или ее отсутствие. Для составления методики анализа и оценки необходимо отразить взаимосвязь систем здоровья и трудовой деятельности работников предприятия в общей системе функционирования компании. Схема систем и их взаимосвязи приведена на рис.1.

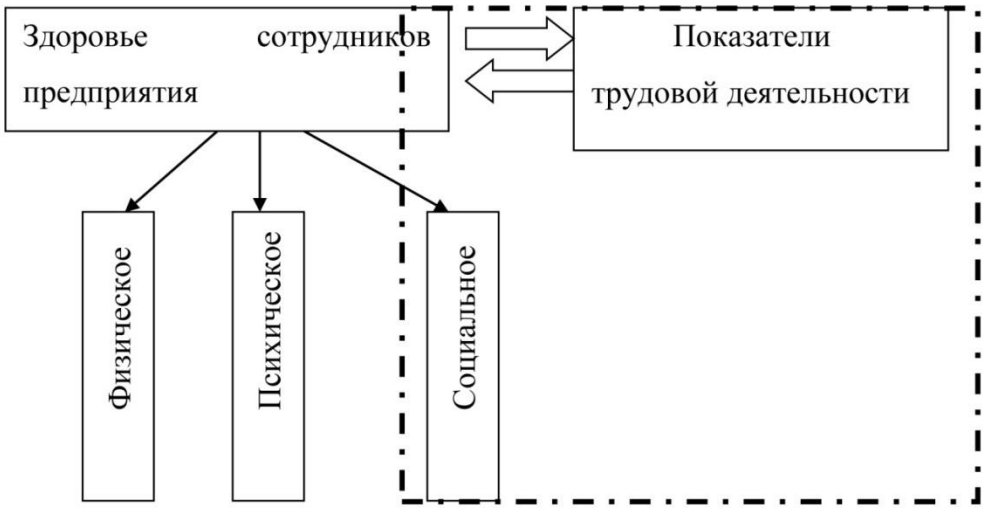


Рис. 1 - Взаимосвязь систем здоровья и трудовой деятельности сотрудников предприятия.

Проведенный обзорный анализ показал отсутствие четких универсальных методик оценки как социального здоровья работника так и его влияния на показатели трудовой деятельности. Однако предложено несколько узконаправленных частных разработок методик оценки социального здоровья, например школьников [6], но их нельзя обобщить для трудовых коллективов.

Целью разработанной методики оценки социального здоровья является установление степени влияния только компонента социального здоровья на показатели трудовой деятельности, что относится к выделенному на рисунке 1 квадрату. Исследования данной системы целесообразно проводить с целью установления возможности повышения эффективности трудовой деятельности за счет оказания влияния на социальное здоровье сотрудников предприятия.

Необходимо отметить, что описанная система не является изолированной и необходимо также максимально исключить возможность внешнего воздействия на исследуемую систему.

Составленная методика проведения исследования состоит из следующих этапов:

I. Предварительный этап:

1. Установление сущности основных понятий
2. Изучение существующих исследований и методик исследования
3. Выбор и обоснование методов проведения исследования и анализа данных.
4. Определение набора параметров, которые необходимо определить у респондентов.
5. Составление анкетного опросника

II. Полевой этап:

1. Проведение анкетного опроса
2. Интервью.

III. Первичный анализ данных

1. Частотный анализ
2. Установление различий в группах

IV. Построение математических моделей зависимости показателей трудовой деятельности от уровня социального здоровья респондентов.

V. Оценка возможности управления показателями трудовой деятельности.

На рисунке 2 представлена блок-схема процесса проведения исследования.

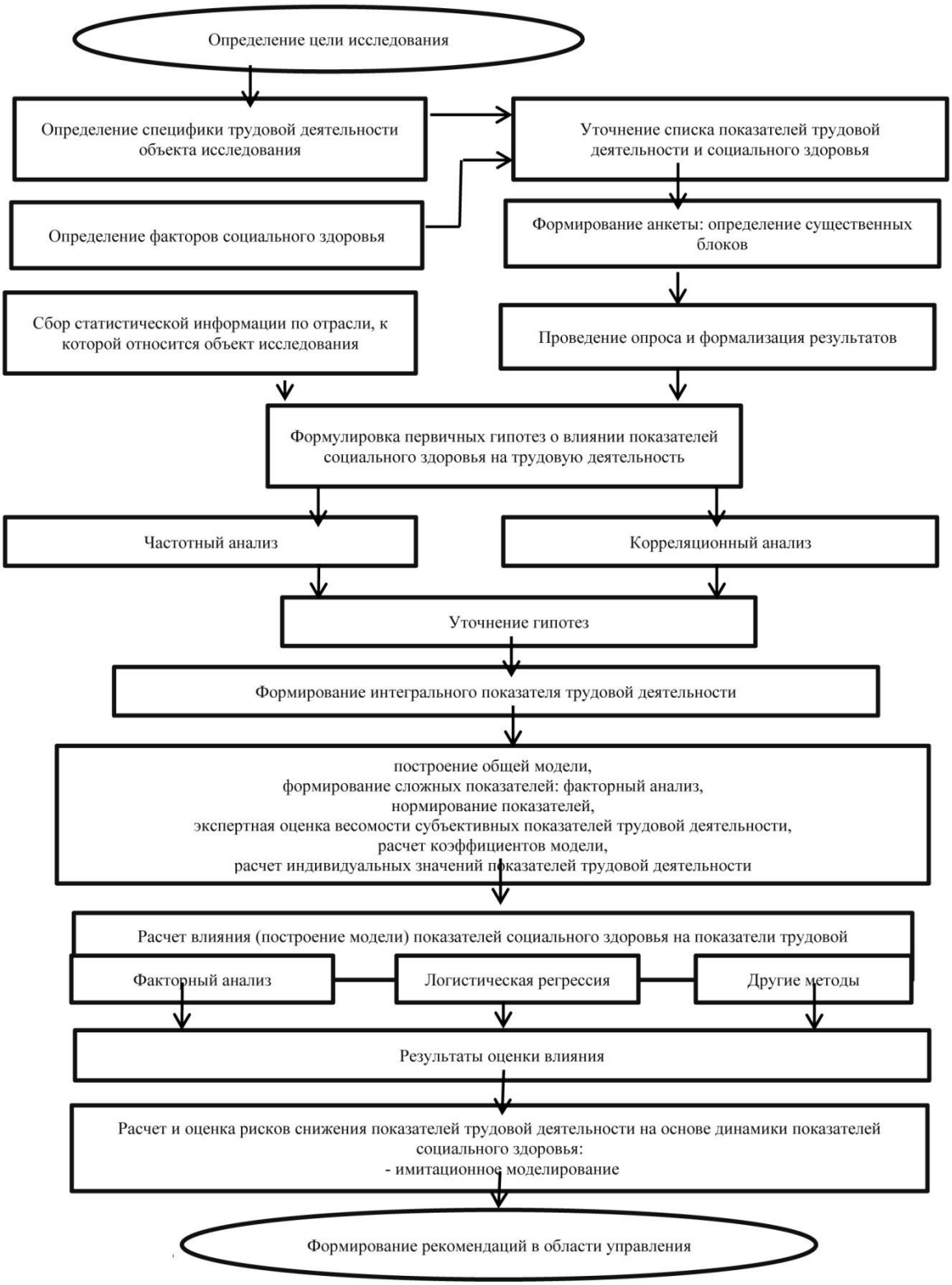


Рисунок 2 – Алгоритм процесса проведения исследования влияния социального здоровья на показатели трудовой деятельности

Предложенный алгоритм может быть использован для проведения описанного исследования на предприятии или организации как коммерческого так и некоммерческого характера. Так как в него заложены адаптивные параметры, варьирование которых позволяет проводить исследование для любого предприятия.

Одним из существенных этапов методики является формирование интегрального показателя трудовой деятельности сотрудников предприятия. Так как исследование

проводится на основе статистический данных и результатов анонимного опроса, возможен сбор только субъективных оценок эффективности трудовой деятельности работников.

Процесс получение интегрального показателя трудовой деятельности можно разделить на этапы:

1. Составление перечня вопросов исследования, которые необходимо включить в будущий показатель.
2. Определение вида и способа расчета показателя.
3. Получение экспертных оценок, необходимых для построения показателя.
4. Промежуточные расчеты.
5. Расчет показателя трудовой деятельности и оценка возможного закона распределения.

В общем виде будем рассматривать показатель трудовой деятельности как линейную функцией от выделенных факторов субъективной оценки:

$$F(x_1, x_2 \dots x_{17}) = \sum_{i=1}^{17} \alpha_i ||x_i|| \quad (1)$$

где α_i - весовой коэффициент, определяемый методом экспертной оценки, $\alpha_i \in [0; 1], \sum \alpha_i = 1$,

$||x_i||$ - Евклидова норма фактора x_i.

Нормирование фактора для показателей производится по формуле (2).

$$||x_i|| = \frac{x_{ij}}{x_i^{max}} * 100, \quad (2)$$

где x_{ij} – значение i-ого фактора для j-ого респондента,

x_i^{max} – максимально возможное значение i-ого фактора.

Таким образом, значение функции F находится в пределах от нуля до ста.

Результаты расчета интегрального показателя трудовой деятельности используются в дальнейшем для оценки влияния на него показателей социального здоровья методами имитационного моделирования. Что позволит дать рекомендации по возможности эффективного влияния на показатели социального здоровья с целью повышения эффективности труда.

Список литературы

1. *Афифи А.* Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. – М.: Мир, 1982. – 488с.
2. *Булыгина Л.В.* Социальное здоровье городских подростков. Автореф. дисс. канд. соц. наук. – Ставрополь, 2009. – 20с.
3. *Бююль А.* SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. – М. : ДиаСофт, 2001. – 601 с.
4. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.who.int/ru/ (дата обращения 13.02.2011).
5. *Кендалл М.* Многомерный статистический анализ и временные ряды. - М. : Издательство "Наука", главная редакция физико-математической литературы, 1976. - 736 с.
6. *Рагимова О.А.* Динамика социального здоровья младших школьников в транзитивном обществе. Автореф. дисс. канд. соц. наук. – Саратов, 2006. – с. 13.

05.12.04

С.Н. Скобелева к.т.н.

Поволжский государственный университет сервиса,
факультет информационно-технического сервиса,
кафедра «Информационный и электронный сервис»,
Тольятти, Skobeleva-sn@yandex.ru

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОПРИЁМА В СИСТЕМАХ С УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В статье исследуются проблемные вопросы радиоприёма в системах с угловой модуляцией: электромагнитная совместимость различных диапазонов; эффективное использование частотных диапазонов; повышение качества приема и воспроизведения информации в системах с угловой модуляцией.

Ключевые слова: *супергетеродинный способ, эффективность использования частотного диапазона, электромагнитная совместимость, качество приема и воспроизведения информации.*

Супергетеродинный способ приема и обработки сигналов, доминирует в теории и практике радиоприема с 30^{х} годов двадцатого столетия и до настоящего времени. Однако возможности его исчерпаны, а по некоторым вопросам (внедрения интегральной технологии в производство радиоприемных устройств, электромагнитной совместимости) он стал сдерживающим фактором в дальнейшем развитии теории и практики радиоприема.

Известно, что супергетеродинный способ приема и обработки сигналов имеет серьезный недостаток: наличие дополнительных каналов приема. Не вдаваясь в причины и физику возникновения дополнительных каналов приема, отметим те проблемы, которые они создают в теории и практике радиоприема. Еще Е.Г. Момот в сороковые годы двадцатого столетия отметил, что «из ряда проблем, стоящих перед современной радиотехникой, наиболее сложный и наиболее специфичный для этой области комплекс проблем связан с «теснотой в эфире». Выделение нужного сигнала производится только за счет разноса в частотах, но диапазон практически удобных частот ограничен. Это ставит тесные рамки для расширения сети радиосвязи, а также и для количества радиопередач. К тому же несовершенство избирательности приемников заставляет и этот диапазон использовать не полностью, оставляя неиспользуемые промежутки на стыках частотных каналов» [1].

Последняя фраза говорит об эффективности использования частотного диапазона. Однако, немаловажную проблему создают в настоящее время дополнительные каналы приема, присущие супергетеродинному способу приема и обработки сигналов, создающие проблему электромагнитной совместимости различных диапазонов [3-6]. Эта проблема при сохранении супергетеродинного способа приема и обработки сигналов обостряется с освоением все новых частотных диапазонов. Покажем это на примере диапазонов FM-1 (УКВ-1) и ТВ. При использовании стандартной промежуточной частоты в FM диапазоне 10,7 МГц частоты зеркального канала располагаются в области 87,2…95,4 МГц, где расположены спектры IV и V каналов телевизионного изображения и IV канала звукового сопровождения телевидения. Если учесть, что мощность передатчиков ТВ, как правило, в 4 раза больше мощности передатчиков FM, принять полосу пропускания тракта промежуточной частоты (ПЧ) приемника FM равной 160 кГц, а передающие антенны ТВ и FM вещания расположенными в одном месте (как это обычно бывает на практике), то можно рассчитать вероятные мощности помех по зеркальному каналу приемникам FM и необходимую степень их подавления. Расчет показывает [2], что отсутствие помех гарантируется при избирательности приемника по зеркальному каналу около 78 дБ. Следует,

однако, учитывать, во-первых, принятую узкую полосу пропускания тракта ПЧ, соответствующую приемникам низкого класса; во-вторых, что возможны случаи расположения FM приемника вдали от FM радиостанции, но вблизи от ТВ ретранслятора, работающего в IV или V телевизионном канале. Следовательно, на практике требуется еще большее значение избирательности FM приемников по зеркальному каналу. Аналогичное положение вещей наблюдается в диапазоне FM-2 (УКВ-2) (88…108 МГц). Если учесть, что требования ГОСТа 5651-89 соответствуют технически достижимым с точки зрения технико-экономической целесообразности значениям избирательности по зеркальному каналу приема (70 дБ для приемных трактов высшей группы сложности), то следует признать, что норма в 78 дБ является просто технически невыполнимой с учетом технико-экономической оценки целесообразности ее реализации. Т.о. супергетеродинный способ приема и обработки сигналов стал тормозом в дальнейшем освоении и заполнении частотных диапазонов. Кроме того, необходимость обеспечения нужного значения селективности по зеркальному каналу приводит к существенному усложнению схемотехнических решений в преселекторе, что требует постоянно возрастающего числа катушек индуктивности, которые в настоящее время несовместимы с интегральной технологией. Следовательно, супергетеродинный способ приема и обработки сигналов стал мощным тормозом на пути внедрения интегральной технологии в производстве радиоприемных устройств.

Теперь вернемся к высказыванию Е.Г. Момота относительно селективности приемника по соседнему каналу. В диапазонах с угловой модуляцией острота этого вопроса сохраняется до настоящего времени. Это объясняется тем, что необходимая полоса пропускания тракта промежуточной частоты при приеме ЧМ сигналов определяется в основном двумя факторами: шириной спектра полезного сигнала на промежуточной частоте и допустимыми нелинейными искажениями модулирующей функции, вызванными нелинейностью фазочастотной характеристики в полосе спектра полезного сигнала.

Ширину спектра полезного сигнала можно оценить по формуле Е.И. Манаева:

$$\Delta f = 2F(1 + M + \sqrt{M}),$$

где F – частота модулирующей функции, M – индекс модуляции. При девиации частоты 50 кГц и частоте модулирующей функции 15кГц, получаем ширину спектра полезного сигнала 184 кГц.

Для заданного значения коэффициента нелинейных искажений (коэффициента гармоник) необходимую полосу пропускания тракта промежуточной частоты по уровню 0,5 можно вычислить по формуле (для полосового усилителя):

$$\Pi_{0,5} = \Delta f_Д \sqrt[4]{2^{\frac{2(n+1)}{n}} - 4} \cdot \sqrt[3]{\frac{n}{M \cdot K_Г}},$$

где $\Delta f_Д$=50 кГц FM-1, 75 кГц FM-2 – девиация частоты; n – число связанных контуров; M – индекс модуляции; $K_г$ – коэффициент гармоник.

Задаваясь: $\Delta f_Д$=50 кГц, n=4, верхней частотой модулирующей функции 15 кГц и коэффициентом гармоник $K_г \leq 0{,}002$, что соответствует требованиям, предъявляемым к высококачественным приемным трактам ЧМ сигналов, получим, что полоса пропускания тракта промежуточной частоты при этом должна быть не менее 468 кГц. Как видим, требования, предъявляемые к ширине полосы пропускания тракта ПЧ по частотным искажениям (184 кГц) гораздо слабее требований, предъявляемых с точки зрения получения коэффициента нелинейных искажений не больше заданного (468 кГц). Следовательно, понятие селективности по соседнему каналу в супергетеродинных приемниках ЧМ сигналов теряет смысл. Именно поэтому ни в ГОСТе 5651, ни в технических характеристиках на аппаратуру нельзя найти требования на избирательность по соседнему каналу приемников FM.

По принятой методике построения радиовещательной сети FM диапазона в обслуживаемом районе для обеспечения селекции по соседнему каналу соседние станции

разносят по частоте относительно друг друга не менее чем на 400…500 кГц (вместо 180 кГц) [3,7], что естественно резко снижает эффективность использования диапазона FM. Остается сочувствовать тем абонентам, которые находятся на границах обслуживаемых районов, так как по принятой в стране схеме построения сетей радиовещания в FM диапазоне минимальный разнос несущих частот радиостанций, работающих в соседних зонах, составляет при передаче разных программ всего лишь 180 кГц [3]. Т.о. в супергетеродинных приемниках вопрос качества воспроизведения информации и вопрос эффективности использования диапазона в настоящее время находятся в явном противоречии. Очевидно, что идеальным решением данного вопроса было бы осуществление селекции по соседнему каналу не на промежуточной, а на звуковой частоте, где ширина спектра сигнала минимальна и равна ширине спектра модулирующей функции. Кроме этого, в этом случае нет необходимости заботиться о линейности фазочастотной характеристики, которая, как было показано выше, и определяет в основном полосу пропускания тракта промежуточной частоты в супергетеродинных приемниках.

При осуществлении селекции по соседнему каналу на звуковых частотах разнос частот между принимаемыми станциями в идеальном случае можно было бы сделать равным $2F_в$, где $F_в$ – верхняя частота модулирующей функции. Тогда при $F_в$ =15 кГц в диапазоне FM-1 (УКВ-1) можно было бы разместить 273 радиовещательных станции, в то время как в настоящее время при супергетеродинном способе приема и обработки сигналов – всего 16…20. Однако в супергетеродинном приемнике селекция по соседнему каналу на звуковых частотах невозможна. Следовательно, решение вопроса эффективного использования диапазона FM опять-таки нужно искать в переходе на другой способ приема и обработки сигналов, позволяющий производить селекцию по соседнему каналу на звуковых частотах. Справедливости ради следует заметить, что, по-видимому, предельным случаем нужно брать разнос частот, обусловленный все-таки шириной спектра полезного радиосигнала, т.е. в нашем случае ~180 кГц. Однако и при этом условии получаем выигрыш в эффективности использования диапазона FM в 2,2…2,8 раза.

Результаты проведенного анализа показывают, что в настоящее время перед теорией и практикой радиоприема стоят следующие, требующие своего решения задачи:

электромагнитной совместимости различных FM диапазонов;

– эффективного использования диапазона FM;

– повышения качества приема и воспроизведения информации в системах с угловой модуляцией.

Господствующий в настоящее время в теории и практике радиоприема супергетеродинный способ приема и обработки сигналов является причиной возникновения этих задач, а, следовательно, стал тормозом в развитии теории и практики радиоприема. Для решения этих задач необходимы новые методы и способы приема и обработки сигналов.

Список литературы

1. *Момот, Е.Г.* Проблемы и техника синхронного радиоприема [Текст]. - М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1961. – 172 с.
2. *Кононович, Л.Н.* Современный радиовещательный приемник [Текст]. – М.: Радио и связь, 1986. - 142 с.
3. *Апорович, А.Ф.* Проблемы ЭМС: состояние и прогноз (обзор). Радиотехника и электроника [Текст]. // Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Выпуск 23. - Минск, 1999. - С. 42–47.
4. ГОСТ 23611 – 79. Совместимость РЭС электромагнитная. Термины и определения [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1979. - 7 с.
5. *Кереселидзе, Е.В.* Требования к параметрам радиоприемника для обеспечения ЭМС. Радиотехника и электроника [Текст]. / В.Н. Левкович. – Мн.: №19. - С 49 – 54.
6. *Банк, М.У.* Параметры бытовой приемно – усилительной аппаратуры и методы их измерения [Текст]. – М.: Радио и связь, 1982. - 136 с.
7. *Скобелева, С.Н.* Исследование возможности повышения качественных характеристик радиоприёмных устройств ультракоротковолнового диапазона (на примере Самарской области). Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. [Текст].- Тольятти: ТГАС, 2001. - 183 с.

05.13.18

О.О. Соколова, Н.А. Труфанов д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра вычислительной математики и механики,
Пермь, oos.prm@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ СЛИТКА НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Построена и численно реализована математическая модель процесса изготовления стального слитка. Численное решение верифицировано с помощью экспериментальных данных. Изучено влияние основных конструкционных параметров слитка, таких как отношение высоты к среднему приведенному диаметру и конусность, на макроструктуру.

Ключевые слова: *численное моделирование, кристаллизация слитка, усадочная пористость, конструкция.*

Основной тенденцией в практике производства металлических слитков в последнее время становятся все возрастающие требования к качеству поковок. Понимание механизмов структурообразования открывает возможность управления качеством литого изделия, способствует верному выбору конструктивных и технологических параметров при проектировании отливки.

Задачи тепломассопереноса в условиях фазового перехода, как большинство прикладных задач, нелинейны [1]. Нелинейность, в первую очередь, связана с наличием неизвестной границы фазового перехода и с необходимостью учета конвективного переноса [2], кроме того, теплофизические свойства материалов могут зависеть от температуры [3]. Такие задачи решить аналитически невозможно, а проведение экспериментов трудозатратно и дорогостояще. Поэтому компьютерное моделирование процесса кристаллизации становится эффективным методом исследования переходных процессов в системе «отливка-форма» [4-6].

К настоящему моменту создано большое количество математических теорий, описывающих процесс кристаллизации, накоплен огромный экспериментальный материал [7-9, 10].

В данной работе проводится численное моделирование трехмерной нестационарной задачи затвердевания слитка массой 6 тонн из стали. Адекватность построенной модели подтверждается результатами натурных испытаний. Далее с помощью компьютерных экспериментов определяется оптимальная конструкция слитка, обеспечивающая наиболее благоприятную структуру осевой зоны. Численное решение ведется средствами коммерческого программного кода ProCAST.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКА И ЕГО МОДЕЛИ

В рассматриваемом сталеплавильном производстве жидкую сталь марки 40ХГМ, нагретую до 1575 ^{0}С, заливают в центровую литниковой системы, затем она по каналам в поддоне поступает снизу в изложницы. Используется шестигранная форма из серого чугуна, начальная температура которой 100 ^{0}С. Внутренняя поверхность прибыльной надставки утеплена теплоизоляционным вкладышем толщиной 50 мм. После заполнения прибыли свободная поверхность расплава засыпается экзотермической смесью. Температура окружающей среды 20 ^{0}С. Время заливки стали 360 с, время выдержки слитка в изложнице 3 часа. Геометрические характеристики слитка приведены в таблице (№1).

В силу симметрии рассматривается 1/8 часть слитка (рис. 1). Количество элементов в модели – 45000, из них 28500 в области фазового перехода.

Последовательно решаются две задачи: сопряженная тепловая и гидродинамическая (с учетом турбулентности) – этап заполнения формы, и тепловая задача – этап затвердевания слитка в изложнице. Математическая модель включает в себя, во-первых, уравнение энергии, где двухфазная зона считается пористой средой, в которой выполняется закон Дарси, а учет тепловыделения реализован энтальпийным способом, во-вторых, уравнение неразрывности, и, наконец, уравнения движения жидкости Навье-Стокса, дополненные стандартной двухпараметрической $k-\varepsilon$ моделью турбулентности. Система из пяти уравнений замыкается с помощью начальных и граничных условий.

Таблица – Геометрические параметры слитков

№	H, мм	$D_{ниж}$, мм	$D_{верх}$, мм	Прибыль				K, %	H/D
				D_1, мм	D_2, мм	D_3, мм	$H_{пр}$, мм		
1	**1875**	**600**	**770**	**630**	**810**	**1130**	**400**	**9**	**2,76**
2	1875	550	800	630	810	1130	400	13,3	2,76
3	1875	500	850	630	810	1130	400	18,7	2,76
4	1875	500	850	700	880	1180	350	18,7	2,76
5	1780	600	780	630	810	1130	400	10	2,58
6	1680	645	795	630	810	1130	400	9	2,33
7	1600	630	830	680	850	1130	350	12,5	2,2

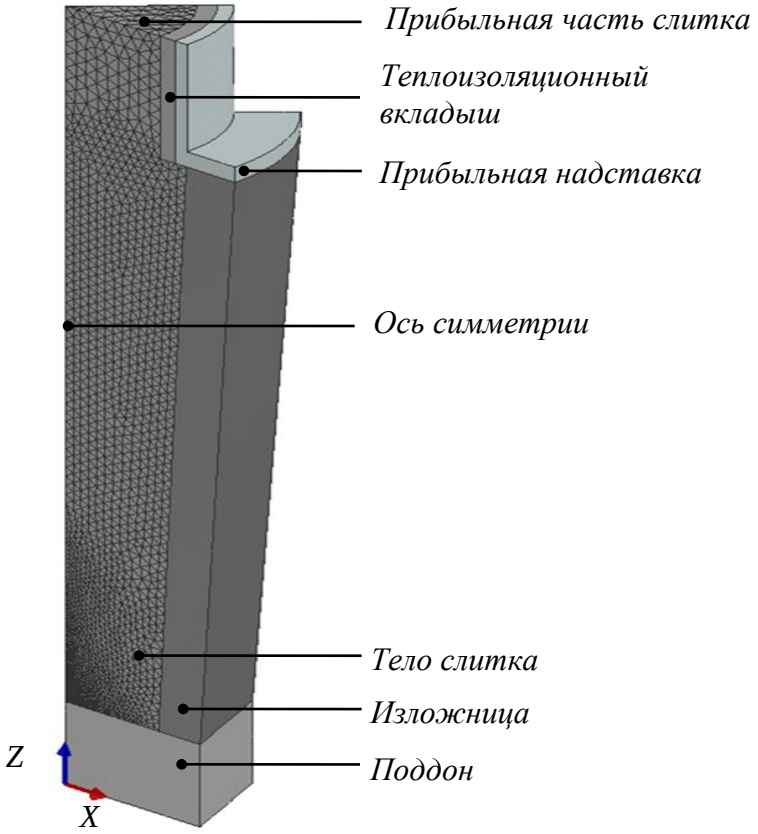
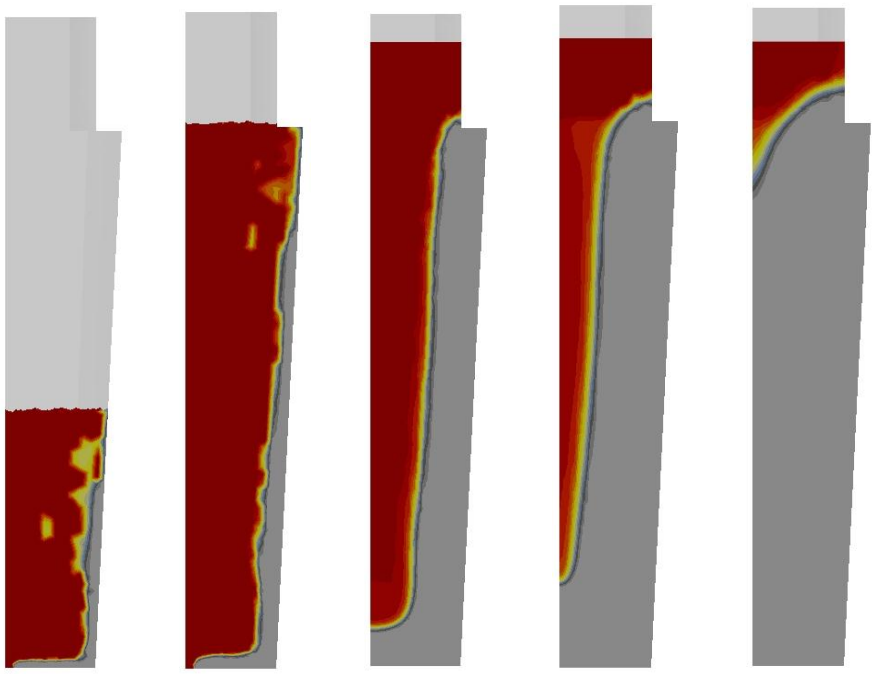


Рис. 1 – Геометрическая модель. Показана конечно-элементная сетка в области фазового перехода

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для разработанных моделей процессов заливки и кристаллизации получены температурные и скоростные поля. Опасно перегретых зон на форме в течение заливки нет, отмечается сильный разогрев теплоизоляционного вкладыша, что является положительным фактором, поскольку он препятствует теплоотдаче через прибыльную часть. Среднее падение температур по толщине изложницы составляет 100 ^{0}С, что характерно для интенсивного теплоотвода. Твердая корочка металла к моменту окончания заливки образуется только на стенках изложницы (ее толщина порядка 7-10 см), а в прибыльной части слитка отсутствует, что связано с малой теплопроводностью материала вкладыша и особенностями сифонной заливки. Анализ затвердевания в течение времени (рис. 2) и распределение усадочной пористости (рис. 4 *а*) приводят к выводу, что геометрия слитка не позволяет обеспечить постепенное затвердевание осевой его части, из-за чего велика вероятность образования осевых рыхлот и трещин.



130 с 312 с 1660 с 3300 с 5580 с

Рис. 2 – Положение фронта кристаллизации с течением времени в расчете №1 (красный цвет – жидкая фаза, серый - твердая)

Результаты численного моделирования кристаллизации слитка хорошо согласуются с экспериментом. На рис. 3 изображена макроструктура препарированного слитка, отлитого по описанной ранее технологии. Расположение зоны концентрации трещин соответствует области максимальной пористости в численном расчете (рис. 4 *а*).

Добиться плотной и однородной осевой зоны слитка можно удачным выбором конструкционных параметров слитка, таких как отношение высоты тела слитка H к среднему приведенному диаметру D; и конусность K. Проводится серия расчетов, целью которых является определение оптимальной конструкции слитка. Критерием правильно выбранных параметров служит качественная картина распределения пористости. В таблице приведены семь вариантов геометрии слитка.

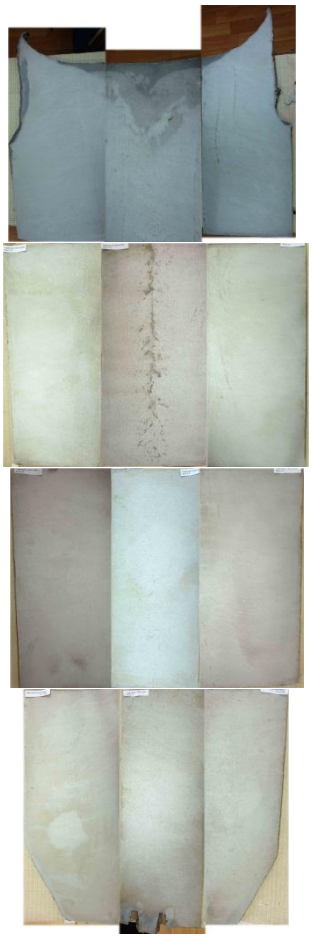
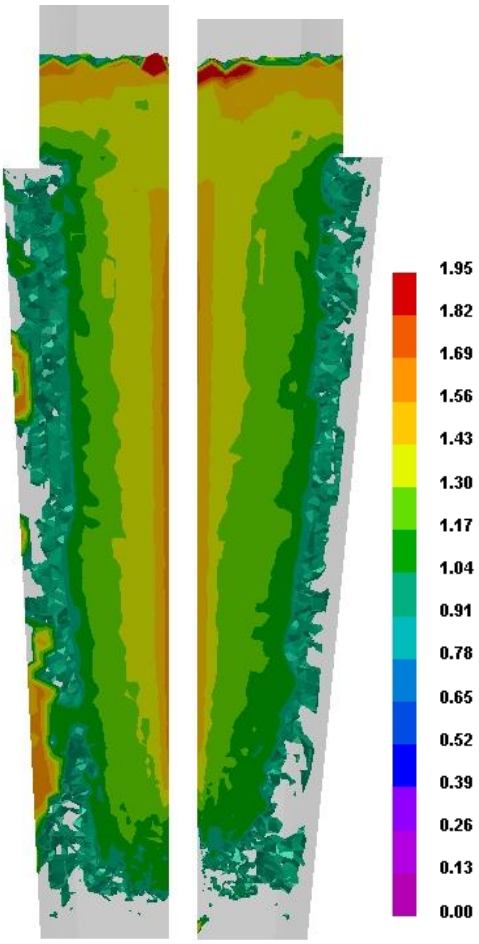


Рис. 3 – Макроструктура препарированного слитка



а *б*

Рис. 4 – Распределение макропористости (в %) в слитке: *а* – расчет №1, *б* – расчет №4

ВЛИЯНИЕ КОНУСНОСТИ

Изучение влияния конусности слитка на время и характер затвердевания, а также на макроструктуру проводилось при двух различных значениях: 13,3% (в таблице расчет №2) и 18,7% (№3).

Увеличение конусности слитка приводит к увеличению времени затвердевания. При увеличении верхнего диаметра слитка теплоотвод в радиальном направлении уменьшается, а затвердевание приобретает направление снизу – вверх. Этим обеспечивается более плотная структура металла в осевой части.

В расчете №3 образовалась глубокая усадочная раковина, что связано с неэффективной работой прибыли. При увеличении диаметра прибыли (расчет №4) эта проблема снимается. Макроструктура, полученная для обоих расчетов, свидетельствует о верно подобранных геометрических параметрах: доля осевой пористости меньше, чем в исходном варианте №1 (рис. 4 *б*).

ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ ВЫСОТЫ СЛИТКА К ДИАМЕТРУ

В вариантах расчета №5 – 7 в начальные моменты времени наблюдается схожая картина затвердевания, которая, однако, начинает расходиться с течением времени. Вертикальная направленность затвердевания не обеспечивает химически однородную структуру в осевой зоне, что может привести к уменьшению механической прочности и появлению трещин. По сравнению с расчетом №1 ширина зоны с долей пористости около 1,8% в расчете №5 больше. Изменение толщины твердой корочки металла с течением времени в обоих расчетах

аналогично, отмечается небольшое увеличение ее величины на начальной стадии затвердевания.

При совместном изменении K и H/D и увеличении диаметра прибыли (расчет №7) макроструктура слитка в осевой зоне улучшается: длина зоны с максимальной рыхлотой уменьшается.

ВЫВОДЫ

Предварительное численное моделирование кристаллизации слитков показало, что макроструктура осевой зоны наиболее чувствительна к изменению конструкционных параметров слитка, в том числе его конусности. Для обеспечения оптимальной макроструктуры необходимо подбирать его диаметр и высоту таким образом, чтобы конусность составляла 13-15% при сохранении исходного отношения H/D=2,76. При большем увеличении конусности требуется увеличение диаметра прибыли с целью эффективной работы последней. Затраты металла в этом случае можно снизить, уменьшив высоту прибыли, поскольку усадочная раковина не проникает глубоко в тело слитка. При уменьшении высоты слитка его макроструктура изменяется незначительно. При одновременном уменьшении высоты и увеличении конусности слитка отмечается снижение уровня максимальной пористости и сокращение протяженности всей зоны осевой рыхлоты.

Во избежание появления осевых дефектов рекомендуется увеличить конусность слитка до 13-15% при первоначальной высоте. Требуются дополнительные натурные эксперименты с целью верификации результатов численного моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 13.G25.31.0093 от 22.10.2010 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. *Цаплин А.И.* Теплофизика внешних воздействий при кристаллизации стальных слитков на машинах непрерывного литья. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1995. – 238 с.
2. *Samarskii A.A., Vabishchevich P.N., Iliev O.P., Churbanov A.G.* Numerical simulation of convection/diffusion phase change problems – a review // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1993. – Vol.36, No.17. – P.4095-4106.
3. *Дубровская А.С., Донгаузер К.А.* Численный анализ эволюции напряженно-деформированного состояния кристаллизующихся лопаток турбин // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2012. – №1. – С. 16-30.
4. *Kermanpur A., Eskandari M., Purmohamad H., Soltani M.A., Shateri R.* Influence of mould design on the solidification of heavy forging ingots of low alloy steels by numerical simulation // Materials and Design. – 2010. – Vol.31. – P.1096–1104.
5. *Guo J., Samonds M.* Modeling of alloy casting solidification // JOM. – 2011. – Vol. 63, No. 7. – P.19-28. www.tms.org/jom.html
6. *Ludwig A.* Thermophysical properties necessary for advanced casting simulations // Int. J. of Thermophysics. – 2002. – Vol. 23, No. 5. – P.1131-1146.
7. *Борисов В.Т.* Теория двухфазной зоны металлического слитка. М.: Металлургия, 1987. – 224 с.
8. *Любов Б.Я.* Теория кристаллизации в больших объемах. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
9. *Авдонин Н.А.* Математическое описание процессов кристаллизации. Рига: Зинатне, 1980. – 180 с.
10. *Вейник А.И.* Теория затвердевания отливки. – М.: Машгиз, 1960. – 436 с.

05.13.01

А.М. Станкевич, О.А. Суворова

Московский авиационный институт (технический университет "МАИ"),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, stan@inmas.ru, olya.suvorova@inmas.ru

ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В данной статье содержится описание типовой структуры процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники (АТ). Типовая структура процессов сформирована с учётом стандартов/требований, распространяемых на эксплуатацию АТ.

Ключевые слова: *Техническое обслуживание и ремонт, типовые бизнес-процессы, эксплуатационная документация.*

При формировании системы сопровождения процессов ТОиР необходимо выделять четыре группы процессов. **Первая группа процессов связана с** ведением и поддержанием в актуальном состоянии **типовой документации**, то есть информации, распространяемой на тип изделий АТ.

Вторая группа процессов связана с ведением и поддержанием в актуальном состоянии **пономерной документации**, то есть, информации по каждому экземпляру изделия АТ.

В результате выполнения рассмотренных двух групп процессов обеспечивается поддержание в актуальном состоянии типовой информации, описывающей правила выполнения работ ТОиР в зависимости от состояния изделия АТ, а также необходимые для выполнения работ ТОиР ресурсы. В то же время, актуальная пономерная информация описывает состояние изделия АТ на данный момент времени.

Выполнение рассмотренных выше двух групп процессов обеспечивает ведение информации, которая является основой для формирования **третьей группы процессов**, реализующей **планирование работ ТОиР**.

Четвертая группа процессов связана с **управлением материальными ресурсами**, а именно, учётом движений изделий АТ в рамках эксплуатирующей организации. Рассмотрим процессы каждой группы более подробно.

Ведение типовой документации на изделия АТ

Ведение типовой структуры изделий АТ

В рамках данного процесса осуществляется создание и поддержание в актуальном состоянии типовой структуры изделия АТ в соответствии с документацией на тип изделия АТ, поставляемой разработчиком и производителем.

Типовая структура изделий АТ отечественного производства формируется в соответствии с ГОСТ 18675-79, типовая структура изделий АТ иностранного производства формируется в соответствии со спецификацией АТА-2200. В соответствии с этими документами изделий АТ представляется в виде иерархической структуры функциональных систем/подсистем, состав которых зависит от конкретного типа изделия АТ. Такое представление обеспечивает единые правила формирования эксплуатационно-технической документации на определённый тип изделий АТ, а также возможность анализа информации о надёжности агрегатов, установленных на определённых системах/подсистемах изделия АТ, и формирование документации, представляемой в контролирующие органы.

Ведение «типовой» ресурсной информации на тип изделий АТ

В данном процессе осуществляется ведение ресурсов, сроков службы, сроков хранения, а также гарантийных обязательств (далее ресурсная информация) на тип изделий АТ. Процесс выполняется, если ресурсная информация на группу изделий АТ одного типа не отличается.

Основной информацией для регистрации типовых документов о ресурсах и сроках службы являются паспорт изделия АТ и руководство по технической эксплуатации изделия АТ.

Ведение регламента ТО изделий АТ

В рамках данного процесса осуществляется ведение регламента технического обслуживания на тип изделий АТ. Эта информация далее используется для планирования сроков обслуживания изделий АТ данного типа, а также своевременного обеспечения работ по ТОиР изделий АТ необходимыми материальными и трудовыми ресурсами.

При этом осуществляется ведение и контроль версий и применимости регламента обслуживания к изделиям АТ, что обеспечивает поддержание его в актуальном состоянии, а также возможность предоставления данных для отчётной документации контролирующим органам.

Ведение сервисных бюллетеней и директив лётной годности

В рамках данного процесса осуществляется ведение сервисных бюллетеней и директив лётной годности (СБ/ДЛГ) с последующей инициацией работ, требующих выполнения на изделиях АТ, на которые распространяются данные документы. В рамки данного процесса также входит планирование выполнения работ по СБ/ДЛГ и контроль за их выполнением.

Ведение пономерной документации

Ведение пономерной информации об агрегатах

Данный процесс рассматривает процедуры, связанные с ведением пономерной информации для агрегатов, устанавливаемых на изделия АТ. Необходимая информация содержится в паспорте агрегата и, если агрегат является составным, в сводном паспорте агрегата.

Агрегат может поступать в эксплуатирующую организацию следующими двумя способами:

- при поступлении изделия АТ (агрегат установлен на изделии АТ);
- при поступлении на склад (например, в результате покупки агрегата).

Ведение информации при поступлении агрегата в составе изделия АТ

Данный процесс обеспечивает ведение пономерной информации об агрегатах, установленных на изделии АТ, при поступлении изделия АТ в эксплуатирующую организацию. Также, в результате выполнения данного процесса, обеспечивается ведение состава изделия АТ, поскольку агрегаты присваиваются соответствующим системам/подсистемам изделия АТ или вышестоящим агрегатам.

Ведение информации при поступлении отдельного агрегата на склад в процессе его закупки, аренды, получения из ремонта

Данный процесс обеспечивает ведение пономерной информации об агрегатах, поступающих на склад эксплуатирующей организации. Поступление отдельных агрегатов связано с закупкой агрегатов, получением агрегатов из обменно-возвратного фонда, получением агрегатов из ремонта. Также, в результате выполнения данного процесса, обеспечивается ведение состава составных агрегатов.

Ведение пономерной информации об изделиях АТ

Данный процесс рассматривает процедуры, связанные с ведением пономерной информации об изделии АТ в целом.

В общем случае выделяются следующие процессы в рамках ведения пономерной информации об изделии АТ:

- ведение пономерной информации об изделии АТ при его поступлении в эксплуатирующую организацию;
- ведение пономерной информации в процессе эксплуатации изделия АТ, в частности, ввод данных о наработке и обнаруженных дефектах;
- ведение пономерной информации при техническом обслуживании изделия АТ.

Ведение информации при поступлении изделия АТ в эксплуатирующую организацию

Данный процесс обеспечивает ведение пономерной информации об изделии АТ при его поступлении в эксплуатирующую организацию.

Ведение информации при эксплуатации изделия АТ, включая регистрацию наработки и дефектов

Данный процесс обеспечивает ведение пономерной информации в процессе эксплуатации изделия, в том числе, ведение его наработки и обнаруженных в процессе эксплуатации дефектов.

Ведение информации при ТОиР изделия АТ

Данный процесс обеспечивает ведение пономерной информации при выполнении работ ТОиР на изделии АТ.

Процесс выполняется после процессов, связанных с планированием работ ТОиР.

Если в процессе выполнения работ обнаруживаются дефекты, то, в рамках данного процесса, выполняется ведение информации о выявленных дефектах.

В результате, рассматриваемый процесс обеспечивает ведение информации о выполнение работ ТОиР.

Ведение «индивидуальной» ресурсной информации на изделие АТ

Выполнение данного процесса обеспечивает ведение информации о ресурсах и сроках службы (далее ресурсной информации) для отдельного изделия АТ.

К этой информации относится вид ресурса/срока службы, периодичность, срок первой проверки/ремонта, технологическая карта с описанием работ, связанных с проверкой/ремонтом, инструмент и расходные материалы, необходимые для выполнения работы.

Также, в рамках данного процесса, выполняется ввод начальной информации для планирования работ ТОиР, связанных с выработкой ресурсов и истечением сроков службы. К этим данным относятся даты последнего выполнения проверок, ремонтов, наработка на дату последней проверки или ремонта.

Планирование ТОиР изделий АТ

Планирование ТОиР при эксплуатации

Выполнение данного процесса обеспечивает формирование календарных графиков выполнения работ ТОиР (календарное планирование) и формирование пакетов работ ТОиР с выдачей необходимой производственной документации (оперативное планирование).

Процесс выполняется, с одной стороны, на основе информации о правилах обслуживания, представляемых регламентами обслуживания, данными о ресурсах и сроках службы, данными СБ/ДЛГ, и, с другой стороны, текущим состоянием изделий АТ, представляемом данными о текущей наработке, обнаруженных дефектах, о последних выполненных на изделии АТ работ ТОиР.

Выполнение календарного планирования

В результате выполнения данного процесса формируются календарные графики выполнения работ ТОиР.

График работ представляет собой плановые даты и длительность выполнения работ регламента, плановые даты выработки ресурсов и сроков службы для изделий АТ и сроки выполнения работ по СБ/ДЛГ.

Оперативное планирование работ

В рамках данного процесса выполняется оперативное планирование работ, результатом которого являются сформированные пакеты работ ТОиР и распечатанная производственная документация.

Планирование ТО при хранении

Планирование ТО агрегатов при складском хранении включает календарное планирование для прогнозирования сроков окончания хранения, наступления событий по переконсервации и другого ТО при хранении.

В результате выполнения данного процесса в системе формируются календарные графики выполнения работ связанных со складским хранением изделий АТ. График работ представляет собой даты и длительность выполнения работ по ТО при складском хранении, а также даты наступления окончания срока хранения и переконсервации для изделий АТ.

Исходными данными для выполнения календарного планирования ТО при хранении являются документы с информацией о сроках хранения, переконсервации, другого ТО при хранении, а также дата последнего выполнения консервации, другого ТО при хранении (если выполнялось), дата начала срока хранения изделия АТ на складе.

На основе полученных календарных графиков ТО при складском хранении, выполняется отслеживание изделий АТ, для которых подходит срок переконсервации или конец срока хранения и принимается решение об отправке изделия АТ в соответствующее подразделение для переконсервации, выполнения проверок, плановых осмотров или ТО при хранении.

Управление материальными ресурсами

В рамках данного процесса обеспечивается ведение информации о движении агрегатов, необходимых для выполнения работ ТОиР, на основных участках их использования в организации.

Регистрация поступления агрегатов

Процесс регистрации поступления агрегатов обеспечивает ведение информации об агрегатах, поступивших на склады эксплуатирующей организации от внешнего контрагента по одному из следующих каналов:

- закупка нового агрегата;
- аренда агрегата;
- возврат агрегата из ремонта в сторонней организации;
- поступление агрегата сторонней организации на ответственное хранение;
- возврат ранее проданного агрегата по рекламации клиента.

Регистрация отпуска агрегатов в производство (монтаж агрегатов на вертолёт)

Процесс регистрации отпуска агрегатов в производство обеспечивает ведение информации об операциях монтажа исправных агрегатов на изделие АТ.

Регистрация поступления агрегатов из производства (демонтаж агрегатов)

Процесс регистрации поступления агрегатов из производства обеспечивает ведение информации об операциях демонтажа неисправных агрегатов с изделия АТ.

Регистрация перемещений агрегатов между складами

Процесс регистрации перемещений агрегатов между складами обеспечивает ведение информации об операциях перемещения агрегатов между складами (участками), а также изменение их состояния (исправный, неисправный, на контроле качества и пр.). Своевременная (оперативная) регистрация операций перемещения является необходимым условием для поддержания актуальной информации о состоянии парка агрегатов.

Заключение

Таким образом, при формировании систем сопровождения процессов ТОиР, необходимым условием является реализация в рамках таких систем процессов, рассмотренных в данной статье.

05.13.18

А.С. Сысоев

Липецкий государственный технический университет,
факультет автоматизации и информатики,
кафедра прикладной математики,
Липецк, anton_syssoyev@mail.ru

Ruhr Universität Bochum, Fakultät für Mathematik,
Arbeitsgruppen Mathematische Physik / Stochastik,
Bochum, Deutschland, Anton.Sysoev@ruhr-uni-bochum.de

ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

В работе рассмотрена проблема оптимизации цикла светофорного регулирования на пересечении городских улиц. Приведены подходы к решению данной задачи, а также предложен авторский алгоритм минимизации функции транспортной задержки. Работа поддержана Европейским Союзом в рамках программы Erasmus Mundus Action 2.

Ключевые слова: *численный алгоритм, оптимизация, транспортная задержка, регулируемый перекресток.*

1. Введение. В настоящее время проблемы, связанные с управлением транспортными потоками становятся все более актуальными. Это связано, в первую очередь, с ростом уровня автомобилизации и транспортной мобильности населения, а также с несовершенством планирования улично-транспортных сетей мегаполисов и моральным устареванием и изношенностью объектов светофорной сигнализации на пересечениях городских магистралей.

Раньше планирование режимов функционирования светофорной сигнализации на регулируемых перекрестках осуществлялось в основном исходя из потребностей в городском транспорте, но с увеличением личного автотранспорта, увеличивается также и интенсивность дорожного движения, вследствие чего увеличивается продолжительность транспортных задержек на пересечениях улиц. Это влечет за собой увеличение расхода топлива, и, следовательно, выбросов вредных газов в атмосферу (что наносит неоценимый вред окружающей среде), увеличение количества троганий и остановок транспортных средств (что является причиной скорейшего износа автомобилей), и просто потерю времени пассажиров (экономический эффект).

2. Состояние проблемы. Для решения проблемы транспортных заторов на регулируемых перекрестках обычно в качестве показателя качества их функционирования используется величина средней транспортной задержки регулирования. Минимизация этого критерия качества проводилась различными специалистами этой области. В работах Е.А. Рейцен и А.Г. Богданова [8] решается задача оптимизации цикла работы светофора методами линейного программирования, Д.А. Кадасев [4] решает задачу нелинейного программирования (определения оптимальной длительности цикла светофорного регулирования и оптимального распределения продолжительностей горения основных тактов) с помощью современного статистического программного обеспечения. Д.И. Голуб [3] предлагает метод статистической оптимизации циклов светофорного регулирования, основанный не на классически используемых коэффициентах приведения состава транспортного потока к условным автомобилям, а на учете тяговых свойств транспортных средств. С.Ю. Брегеда [2] рассматривает алгоритмы нечеткой логики для управления транспортными потоками на перекрестках, а также предлагает использовать изменение

дорожных транспортных знаков для перераспределения транспортных потоков на перекрестке со временем.

Оптимальность решения задачи распределения времени горения разрешающих сигналов (основных тактов) в рамках оптимальной длительности цикла светофорного регулирования достигается решением задачи нелинейного программирования. Для постановки этой задачи и описания предлагаемого метода ее решения вначале остановимся на выборе критерия оптимизации – представлении задержки транспортных средств на регулируемом перекрестке.

3. Транспортная задержка. Транспортная задержка (задержка регулирования) является показателем, определяющим, какое количество времени транспортные средства должны, стоя на подходе к перекрестку, ждать своего обслуживания. Модель транспортной задержки содержит в себе детерминированную и стохастическую составляющие.

Детерминированная составляющая определяется следующими условиями:

1) когда загорается зеленый сигнал светофора, очередь равна нулю;

2) транспортные средства прибывают одинаковыми пакетами с постоянной интенсивностью движения за цикл;

3) при наличии очереди разъезд осуществляется одинаковыми пакетами с интенсивностью убывания, равной потоку насыщения, а при рассасывании очереди – с интенсивностью, равной интенсивности убытия;

4) интенсивность транспортных средств не превышает пропускную способность элемента перекрестка.

Модели задержек, основанные на статистических распределениях процессов прибытия и разъезда, называются «точными» моделями. Так как эти модели получены исключительно теоретическим путем, то для того, чтобы они были адекватными, необходимо накладывать строгие ограничения, что существенно усложняет решение задачи.

В 1956 г. Бекман [5] на основе биномиального процесса прибытия и детерминированного процесса обслуживая впервые определил ожидаемую задержку. Но, ожидаемая остаточная длина очереди и ограничения, накладываемые на биномиальный процесс прибытия, снизили практическую значимость его модели. В 1968 г. Мак Нейл [5] предложил формулу ожидаемой задержки транспортных средств на основе нормального процесса прибытия и постоянного времени разъезда. Согласно его работе, общая задержка за цикл складывается из двух составляющих: общей задержки фазы горения красного сигнала светофора и общей задержки фазы горения зеленого сигнала светофора. Модель Мак Нейла также не нашла широкого применения вследствие низкого уровня адекватности реальным ситуациям. И, в 1974 г., Мак Нейл [5], рассмотрев случай сложного пуассоновского процесса прибытия и нормального процесса обслуживания, получил более сложную формулу, хорошо описывающую реальные ситуации на дорогах, но его модель требовала данных о среднем размере остаточной очереди, что стало главным ограничением на практическую возможность ее использования.

На протяжении долгого времени в нашей стране основной формулой для расчета средней задержки на подходе к регулируемому перекрестку была и остается формула, полученная Ф. Вебстером [13] еще в 1956 г.:

$$d = \frac{T\left(1-\frac{g}{T}\right)^2}{2\left[1-\left(\frac{g}{T}\right)X\right]} + \frac{X^2}{2v(1-X)} - 0{,}65\left(\frac{T}{v^2}\right)^{\frac{1}{2}} X^{2+5\frac{g}{T}}, \qquad (1)$$

где d – средняя задержка за цикл регулирования, с;

T – длительность цикла регулирования, с;

g – длительность разрешающего (зеленого) сигнала, с;

X – степень насыщения;

v – интенсивность прибытия транспортных средств.

Но, как видно из уравнения (1), формула Вебстера получена эмпирическим путем, и сложна для аналитического исследования.

Современные модели расчета задержки регулирования также построены из двух основных составляющих – стандартной (без очереди и предполагается постоянное прибытие) и дополнительной (вносит элемент случайности) задержек регулирования.

Согласно Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections 2008 [10] задержка группы движения транспортных средств равна

$$d = k^f d_1 + d_2, \tag{2}$$

где $d -$ задержка за цикл регулирования, с;

$d_1 -$ стандартная задержка, с;

$d_2 -$ дополнительная задержка, с;

$k^f -$ коэффициент, показывающий тип прибытия транспортных средств.

При этом вычисление стандартной задержки предполагает одинаковое прибытие транспортных средств к пересечению и отсутствие очереди в начале цикла регулирования:

$$d_1 = \frac{T\left(1-\frac{g}{T}\right)^2}{2\left(1-\min\{1, X\}\frac{g}{T}\right)}, \tag{3}$$

где $T -$ длительность цикла регулирования, с;

$g -$ продолжительность разрешающего сигнала для данной фазы, с;

$X -$ степень насыщения – отношение интенсивности движения к пропускной способности.

Дополнительная задержка учитывает непостоянство прибытия автомобилей, а также случайное появление перенасыщения в некоторых циклах:

$$d_2 = 15t_e\left((X-1)+\sqrt{(X-1)^2+240\frac{X}{ct_e}}\right), \tag{4}$$

где $c -$ пропускная способность,

$t_e -$ длительность оцениваемого периода, мин.

Американское руководство по планированию дорог Highway Capacity Manual 2010 [11] определяет задержку регулирования следующим образом:

$$d = d_1 + d_2 + d_3. \tag{5}$$

При этом стандартная задержка d_1 здесь вычисляется также как и (3) в Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections 2008.

Дополнительная задержка, в отличие от (4), учитывает наличие адаптивного регулирования и степень изолированности перекрестка (т.е. удаленность его от соседних регулируемых перекрестков):

$$d_2 = 900t_e\left((X-1)+\sqrt{(X-1)^2+\frac{8kIX}{ct_e}}\right), \tag{6}$$

где $t_e -$ длительность оцениваемого периода, ч;

$c -$ пропускная способность;

$k -$ коэффициент, показывающий наличие адаптивного регулирования;

$I -$ коэффициент учета удаленности от соседнего регулируемого перекрестка.

И остаточная задержка добавляет задержку с предыдущего цикла к общей задержке регулирования.

Рассмотрим дополнительную задержку (4). В качестве длительности оцениваемого периода примем продолжительность цикла регулирования, т.е. $t_e = \frac{T}{60}\,c$. Тогда получим

$$d_2 = \frac{T}{4}\left((X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + 14400\frac{X}{T\cdot c}}\right). \qquad (7)$$

Учитывая отсутствие на большинстве российских дорог объектов управления движением, использующих адаптивное регулирование, примем модификацию модели (4) – модель (7) дополнительной задержки и, соответственно, следующую модель для вычисления задержки транспортного средства за цикл в группе движения:

$$d = k_f \cdot \left(\frac{T\left(1-\frac{g}{T}\right)^2}{2\left(1-\min\{1, X\}\frac{g}{T}\right)}\right) + \frac{T}{4}\left((X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + 14400\frac{X}{T\cdot c}}\right) + d_3. \qquad (8)$$

Для формирования функции общей средней задержки регулирования на перекрестке рассмотрим следующий алгоритм.

4. Алгоритм определения средней задержки на перекрестке

Шаг 1. Определить критическую группу движения, т.е. такую группу в каждой фазе, у которой отношение интенсивности движения (обслуживания) к пропускной способности соответствующего направления максимально.

Шаг 2. Построить для выбранной группы функцию транспортной задержки $d(g^i, T)$ по формуле

$$d = k_f \cdot d_1 + d_2 + d_3,$$

где d - транспортная задержка критической группы в направлении, т.е. максимальная задержка в данном направлении,

d_1 - стандартная задержка критической группы,

d_2 - дополнительная задержка, учитывающая случайный характер прибытия транспортных средств,

d_3 - остаточная задержка, т.е. задержка, оставшаяся от предыдущего цикла,

k_f - поправочный коэффициент, показывающий качество прогрессии.

Шаг 3. Произвести агрегирование задержки для всего перекрестка по критическим группам

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{m}(d)_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^{m} v_i}.$$

5. Постановка задачи. Поставим задачу минимизации агрегированной задержки на перекрестке, т.е. нахождения оптимального времени цикла и распределения его по фазам.

Найти вектор $\left(T, g^1, \ldots, g^m\right)$, такой что следующая функция (9) стремится к глобальному минимуму:

$$D=\frac{\sum_{i=1}^{m}\left(k_f^i\frac{T\left(1-\frac{g^i}{T}\right)^2}{2\left(1-\min\left\{1,X^i\right\}\frac{g^i}{T}\right)}+\frac{T}{4}\left((X-1)+\sqrt{(X-1)^2+14400\frac{X}{T\cdot c}}\right)\right)\cdot v^i}{\sum_{i=1}^{m}v^i}\to\min$$

при системе ограничений:

$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{m}g_i=T,\\ T_{\min}\le T\le T_{\max},\\ (g_i)_{\min}\le g_i\le(g_i)_{\max},\ i=1,\ldots,m.\end{cases}\qquad(10)$$

Заметим, что в оптимизируемой функции (9) уже отсутствует остаточная задержка с предыдущего цикла, т.к. она является константой и не влияет на результат оптимизации.

Учитывая систему вторых и третьих ограничений системы (10), получаем множество *X*, представляющее собой гиперкуб, на котором и будем производить минимизацию.

Таким образом, задача сводится к задаче условной минимизации с ограничением-равенством.

Для перехода к задаче безусловной минимизации [1] построим квадратичную штрафную функцию [9] вида

$$\varphi(g,T,\beta)=\beta\left(\left(\sum_{i=1}^{m}g_i\right)-T+L\right)^2+\sum_{i=1}^{m}\left(g_i-(g_i)_{\min}\right)^2\left[1-\operatorname{sign}\left(g_i-(g_i)_{\min}\right)\right]+$$

$$+\sum_{i=1}^{m}\left((g_i)_{\max}-g_i\right)^2\left[1-\operatorname{sign}\left((g_i)_{\max}-g_i\right)\right]+\left(T-T_{\min}\right)^2\left[1-\operatorname{sign}\left(T-T_{\min}\right)\right]+$$

$$+\left(T_{\max}-T\right)^2\left[1-\operatorname{sign}\left(T_{\max}-T\right)\right],$$

которая будет стремительно увеличиваться за пределами гиперкуба *X* и обращаться в ноль внутри его.

Получаем задачу многомерной безусловной минимизации

$$\tilde{D}=D+\varphi(g,T,\beta)\to\min.\qquad(11)$$

Решать полученную задачу (11) будем численно [7,12] на основе мультистартового параллельного алгоритма безусловной многомерной минимизации.

6. Мультистартовый параллельный алгоритм безусловной многомерной минимизации

Шаг 0. Задаем параметры

$n+1$ – число компонент вектора, по которому проводится оптимизация, n – число моделируемых равномерно распределенных точек на области минимизации, $\Delta\beta$ – приращение параметра штрафной функции, например, $\Delta\beta=\lg(k)$, $\varepsilon_1>0$ – точность шага алгоритма оптимизации, $\varepsilon_2>0$ – точность алгоритма, $\delta>0$ – параметр кластеризации.

Шаг 1. В качестве начального значения для множителя штрафной функции выбираем $\beta=0$. Тем самым найдем глобальный минимум исходной функции без учета ограничения-равенства.

Шаг 2. Для заданной функции без ограничений моделируем на множестве *X n* равномерно распределенных в R^{m+1} точек $x_1,\ldots,x_n$.

Шаг 3. Минимизация функции со штрафом для конкретного параметра β.

Шаг 3.1. Используем полученные точки в качестве начальных и проводим одну или несколько итераций алгоритма статистического градиента с целью улучшения рабочих точек. В результате получаем точки $z_1,\ldots,z_n$ (для первой итерации используем точки шага 2, для последующих – точки шага 3.4).

Шаг 3.2. Применяем кластеризацию к полученным точкам $z_1,\ldots,z_n$.

Шаг 3.2.1. Полагаем, что все точки принадлежат различным кластерам.

Шаг 3.2.2. Находим ближайшую пару z_i, z_j, такую, что $\rho_{ij} = \arg\min_{k,l=1,\ldots,N} \rho_{k,l}$. Здесь в качестве расстояния можно использовать обычную евклидову норму $\rho(z_i, z_j) = \sqrt{\sum_k (z_{i,k} - z_{j,k})^2}$.

Шаг 3.2.3. Если расстояние между ближайшими соседями не превосходит некоторое достаточно малое число $\delta > 0$, то z_i, z_j объединяются в один кластер, и, тем самым, число кластеров сокращается на единицу.

Пусть получено *m* кластеров. Если *m* = 1, переходим к шагу 3.4, иначе – к шагу 3.3.

Шаг 3.3. Выбираем представителей от всех кластеров (т.е. точку из каждого кластера, доставляющую наименьшее значение целевой функции). Полагаем $N = m$ и переходим к шагу 3.

Шаг 3.4. Находимся в окрестности глобального минимума. Выбираем представителя единственного кластера. Используем его в качестве начальной точки для алгоритма локальной оптимизации, например, того же алгоритма статистического градиента.

Для окончания шага безусловной оптимизации используем критерий $\left|\tilde{D}(z^k, \beta^k) - \tilde{D}(z^{k-1}, \beta^k)\right| \le \varepsilon_1$. Если условие выполнено, переход на шаг 4.

Шаг 4. Проверка условия окончания алгоритма $\left|\tilde{D}(z^{k+1}, \beta^k) - \tilde{D}(z^k, \beta^{k-1})\right| \le \varepsilon_2$. Если условие выполнено – полагаем $z^{k+1} = z^* = \left(T, g^1, \ldots, g^m\right)$, в противном случае – переход на шаг 5.

Шаг 5. Пересчет (увеличение) параметра β штрафной функции по заданному правилу: $\beta^{k+1} = \beta^k + \Delta\beta$. Переход на шаг 2.

7. Алгоритм статистического градиента

Шаг 1. Выбрать начальную точку $x_0 = (x_1,\ldots,x_n) \in R^{m+1}$, пробный шаговый множитель $\gamma > 0$, рабочий шаговый множитель $\rho > 0$, число пробных шагов $p \ge 1$. Положить *t* = 0.

Шаг 2. Вычислить *p* случайных независимых реализаций $\xi^{t,i}, i = 1,\ldots,p$ единичного вектора ξ^t равномерно распределенного по всем направлениям в R^{m+1}.

Шаг 3. Вычислить приращение функции $\tilde{D}$

$$\Delta^t{}_i = \tilde{D}(x^t + \gamma\xi^{t,i}) - \tilde{D}(x^t), \qquad i = 1,\ldots,p.$$

Шаг 4. Вычислить вектор $grad^t = \sum_{i=1}^{p} (\xi^{t,i}\Delta^t{}_i)$.

Шаг 5. Вычислить вектор движения h^t к следующему приближению x^{t+1} по формуле $h^t = -\frac{grad^t}{\left\| grad^t \right\|}$.

Шаг 6. Вычислить следующее приближение по формуле $x^{t+1} = x^t + \rho h^t$.

Шаг 7. Полагаем $t = t + 1$ и переходим к шагу 2.

Замечание: при $p \to \infty, \quad \gamma \to 0, \; grad^t$ - статистическая оценка градиента функции $\tilde{D}$ в точке x^t.

Описанный метод оптимизации функции транспортной задержки применяется для нахождения оптимальной длительности цикла светофорного регулирования и оптимального распределения длительностей фаз разрешающих сигналов в рамках найденного цикла.

8. Благодарности. Автор выражает благодарность доктору физико-математических наук, профессору Липецкого государственного технического университета Семену Львовичу Блюмину за научное руководство, а также профессорам Рурского университета Криштофу Кюлске и Нингу Ву за внимание к работе и ценные рекомендации.

Список литературы

1. *Бейко И.В.* Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 512 с.
2. *Брегеда С.Ю.* Управление безопасностью дорожного движения на основе моделей регулирования транспортными потоками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. – Воронеж, 2010.
3. *Голуб Д.И.* Метод статистической оптимизации циклов светофорного регулирования / Д.И. Голуб. Ставрополь: СевКавГТУ, 2007.
4. *Кадасев Д.А.* Повышение системной безопасности транспортных потоков оптимизацией светофорного регулирования их движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. – М, 2008.
5. *Корчагин В.А.* Повышение системной безопасности транспортных потоков: учеб. пос. / В.А. Корчагин, Д.А. Кадасев. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2010. – 159 с.
6. *Левашев А.Г.* Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. Пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
7. *Рейзлин В.И.* Численные методы оптимизации: учебное пособие / В.И. Рейзлин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 105 с.
8. *Рейцен Е.А.* Оптимизация цикла работы светофора с использованием методов линейного программирования // Е.А. Рейцен, А.Г. Богданов. URL http://librar.org.ua/sections_load.php?s=transport&id=430 (дата обращения 16.08.2012)
9. *Турчак Л.И.* Основы численных методов: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Турчак, П.В. Плотников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 304 с.
10. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections 2008. Institute of Transportation Engineers, District 7 – Canada. ISBN 978-1-933-45224-1
11. Highway Capacity Manual. Volume 3: Interrupted Flow. Transportation Research Board of the National Academies. Washington, DC. – 2010. ISBN 978-0-309-16080-3
12. *Torn, A.* A sampling-search-clustering approach to global optimization // Towards Global Optimization 2. – Amsterdam: North Holland, 1978. pp. 49-62.
13. *Webster, F.V.* Traffic Signal Settings. Road Research Technical Paper No. 39. London: Great Britain Road Research Laboratory, 1958.

05.23.01

А.Г. Тамразян д.т.н., О.В. Мкртычев д.т.н., В.Б. Дорожинский

Московский государственный строительный университет,
НТЦ «Риск и безопасность сооружений»,
Москва, tamrazian@mail.ru, mkrtychev@yandex.ru, dorozhinski@mail.ru

РАСЧЕТ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА АВАРИЙНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

В статье рассмотрены подходы к интегрированию уравнений движения систем, которые могут использоваться при расчете конструкций на аварийные воздействия. Кратко описаны основные этапы и результаты расчетов несущих конструкций Многофункциональной крытой арены Футбольного стадиона «Спартак».

Ключевые слова: *железобетонные конструкции, большепролетные металлические конструкции, напряженно-деформированное состояние (НДС), прочностные расчеты, прогрессирующее обрушение, динамика.*

Универсально-спортивный зал, входящий в состав Многофункционального комплекса Футбольного стадиона «Спартак», предназначен для проведения спортивных, культурно-массовых мероприятий, а также размещения пресс-центра ЧМ-2018.

Размеры сооружения в осях 164,9х108,05 м, отметка низа несущих конструкций покрытия +23,900 м, максимальная отметка кровли +33,490 м. Основными несущими конструкциями сооружения являются монолитный железобетонный каркас трибун, состоящий из колонн, стен, балок, перекрытий и трибун, пилонов и стальных конструкций покрытия.

Несущие конструкции покрытия запроектированы в виде дискретной плиты, состоящей из стропильных, подстропильных и связевых ферм. Стропильные фермы пролетами от 99,25м до 104,675 м опираются на подстропильные фермы с шагом 10,800 м - 11,660 м. Подстропильные фермы запроектированы неразрезными трехпролетными 54,03 м и 46,65 м с перекрестной решеткой и шарнирно опираются на восемь железобетонных опор. Вертикальные связевые фермы опираются на стропильные фермы и выполнены неразрезными на всю длину покрытия.

Максимальный пролет покрытия между пилонами в поперечном направлении составляет 104,35 м. Высота структурного покрытия в осях 8 м. В конструкции покрытия предусмотрен строительный подъем 1500 мм.

Стропильные и подстропильные фермы запроектированы из сварных профилей двутаврового сечения из стали С390. Горизонтальные связи в уровне верхнего и нижнего поясов приняты из стальных труб квадратного сечения 200х8. На стропильные фермы опираются прогоны с шагом 5,5 м.

Жесткость и геометрическая неизменяемость металлического покрытия обеспечивается пространственной работой системы стропильных и подстропильных ферм, систем горизонтальных связей по поясам стропильных ферм и профилированным настилом, образующими жесткий диск покрытия, а также жесткостью железобетонных пилонов.

Конструктивная схема трибун – каркасно-связевая, с монолитными железобетонными колоннами, ядрами жесткости из стен лестнично-лифтовых узлов и поперечными диафрагмами. Железобетонные конструкции разделены температурно-усадочными швами на блоки.

В НТЦ «Риск и безопасность сооружений» МГСУ выполнены: разработка и построение подробной математической модели всего сооружения в компьютерной среде; комплекс статических и динамических расчётов конструктивной схемы на расчётные комбинации основных нагрузок и воздействий; расчеты на прогрессирующее обрушение; анализ

результатов расчётов с выборкой наиболее напряжённых конструктивных элементов и выполнение расчетов для подбора и проверки сечений; модальный анализ; расчет на общую устойчивость.

Расчет на аварийные воздействия предполагает решение задач динамики сооружений. При использовании метода Ньюмарка, реализующего неявную схему интегрирования, дифференциальные уравнения движения системы с конечным числом степеней свободы в матричной форме в момент времени t_{n+1} представляется в виде [2]:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_{t+\Delta t} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}_{t+\Delta t} + \mathbf{K}\mathbf{u}_{t+\Delta t} = \mathbf{f}^{a}_{t+\Delta t}. \quad (1)$$

Разностная аппроксимация узловых ускорений $\ddot{\mathbf{u}}$, скоростей $\dot{\mathbf{u}}$ и перемещений $\mathbf{u}$ имеет вид, соответственно:

$$\ddot{\mathbf{u}}_{t+\Delta t} = \frac{1}{\alpha\Delta t^2}\left(\mathbf{u}_{t+\Delta t} - \mathbf{u}_t\right) - \frac{1}{\alpha\Delta t}\dot{\mathbf{u}}_t - \left(\frac{1}{2\alpha} - 1\right)\ddot{\mathbf{u}}_t, \qquad \dot{\mathbf{u}}_{t+\Delta t} = \mathbf{u}_t - \Delta t(1-\delta)\ddot{\mathbf{u}}_t + \delta\Delta t\ddot{\mathbf{u}}_{t+\Delta t},$$

$$\mathbf{u}_{t+\Delta t} = \mathbf{u}_t + \mathbf{u}_t\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha\right)\ddot{\mathbf{u}}_t + \alpha\ddot{\mathbf{u}}_{t+\Delta t}\right]\Delta t^2. \quad (2)$$

где α и δ – параметры интегрирования.

Введя обозначения:

$$a_0 = \frac{1}{\alpha\Delta t^2};\ a_1 = \frac{\delta}{\alpha\Delta t};\ a_2 = \frac{1}{\alpha\Delta t};\ a_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1;\ a_4 = \frac{\delta}{\alpha} - 1;\ a_5 = \frac{\Delta t}{2}\left(\frac{\delta}{\alpha} - 2\right);$$

$$a_6 = \Delta t(1-\delta);\ a_7 = \delta\Delta t,$$

и учитывая (2), для (1) получим:

$$\left(a_0\mathbf{M} + a_1\mathbf{C} + \mathbf{K}\right)\mathbf{u}_{t+\Delta t} = \mathbf{f}^{a}_{t+\Delta t} + \mathbf{M}\left(a_0\mathbf{u}_t + a_2\dot{\mathbf{u}}_t + a_3\ddot{\mathbf{u}}_t\right) + \mathbf{C}\left(a_1\mathbf{u}_t + a_4\dot{\mathbf{u}}_t + a_5\ddot{\mathbf{u}}_t\right) \quad (3)$$

Обозначим:

$$\tilde{\mathbf{K}} = a_0\mathbf{M} + a_1\mathbf{C} + \mathbf{K};\ \tilde{\mathbf{f}}^{a}_{t+\Delta t} = \mathbf{f}^{a}_{t+\Delta t}a_0 + \mathbf{M}\left(a_0\mathbf{u}_t + a_2\dot{\mathbf{u}}_t + a_3\ddot{\mathbf{u}}_t\right) + \mathbf{C}\left(a_1\mathbf{u}_t + a_4\dot{\mathbf{u}}_t + a_5\ddot{\mathbf{u}}_t\right)$$

Тогда вектор узловых перемещений:

$$\mathbf{u}_{t+\Delta t} = \tilde{\mathbf{K}}^{-1}\tilde{\mathbf{f}}^{a}_{t+\Delta t} \quad (4)$$

Из (4) видно, что вычисление $\mathbf{u}_{t+\Delta t}$ при решении задач в линейной постановке сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. При решении задач в нелинейной постановке (учет физической, геометрической нелинейностей) элементы матрицы $\mathbf{K}$ будут зависеть не только от свойств материала конструкций, но и от ее напряженно-деформированного состояния, т.е. от вектора перемещений $\mathbf{u}_t$, что значительно усложняет задачу и приводит к решению нелинейных алгебраических уравнений на каждом шаге интегрирования по времени.

В этом случае более эффективными являются методы, реализующие явные схемы интегрирования уравнений движения системы, например метод центральных разностей. Особенностью явных методов является то, что узловые ускорения $\mathbf{a}$ и скорости $\mathbf{v}$ вводятся в расчет в качестве неизвестных (в число узловых степеней свободы) и вычисляются напрямую, а не путем численного дифференцирования функций перемещений. Для определения перемещений вместо (1) используется выражение (5) с запаздыванием по времени:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{K}\mathbf{u}_t = \mathbf{f}_t^{\,a}. \quad (5)$$

Явные методы используют рекуррентные соотношения, которые выражают перемещения, скорости и ускорения на данном шаге через их значения на предыдущих шагах. Вектор ускорений:

$$\mathbf{a}_t = \mathbf{M}^{-1}\left(\mathbf{f}_t^{ext} - \mathbf{f}_t^{\text{int}}\right), \quad (6)$$

где $\mathbf{f}_t^{ext}$ – вектор внешних сил; $\mathbf{f}_t^{\text{int}}$ – вектор внутренних сил.

В частном случае:

$$\mathbf{f}_t^{\text{int}} = \sum \left(\int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} d\Omega + \mathbf{f}_t^{cont} \right), \tag{7}$$

где $\mathbf{B}$ – матрица деформаций-перемещений; $\boldsymbol{\sigma}$ – вектор напряжений; $\mathbf{f}_t^{cont}$ – вектор контактных сил.

Векторы скоростей и перемещений на соответствующем шаге определяются следующим образом:

$$\mathbf{v}_{t+\Delta t/2} = \mathbf{v}_{t-\Delta t/2} + \mathbf{a}_t \Delta t \ , \quad \mathbf{u}_{t+\Delta t} = \mathbf{u}_t + \mathbf{v}_{t+\Delta t/2} \frac{\Delta t_t + \Delta t_{t+\Delta t}}{2}. \tag{8}$$

В случае использования диагональной матрицы масс удается вычислить обратную матрицу, что позволяет упростить расчет и уменьшить время одной итерации. Отсюда видно, что явные методы не связаны с решением систем алгебраических уравнений. Наиболее трудоемкой операцией является вычисление вектора внутренних сил $\mathbf{f}_t^{\text{int}}$, в котором учитываются все виды нелинейностей [2].

Расчёт проводился как единой пространственной системы, максимально приближенной к конструктивной схеме, с учётом продольных, изгибных и крутильных жёсткостей основных и второстепенных элементов, их проектных связей, узловых эксцентриситетов, граничных условий. Все расчеты выполнены с учетом геометрической и физической нелинейностей [1 - 3]. Расчетная модель сооружения приведена на рис. 1. Количество конечных элементов составило 134759 шт.

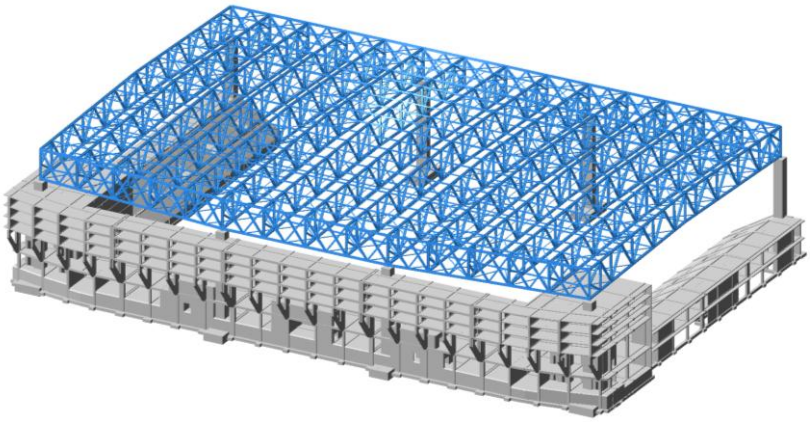


Рис. 1 - Расчетная модель сооружения

Результаты расчета на устойчивость к прогрессирующему обрушению несущих металлических элементов большепролетного покрытия свидетельствуют о наличии перенапряжения в элементах подстропильной фермы при локальном разрушении: опорной стойки стропильной фермы и верхнего пояса подстропильной фермы.

В результате выполненных расчетов в рамках вариантного проектирования были даны рекомендации по корректировке конструктивных решений проекта Многофункциональной крытой арены Футбольного стадиона «Спартак». После учета данных замечаний был сделан вывод о том, что прочность, устойчивость и деформативность элементов несущих конструкций обеспечена и конструктивные решения проекта отвечают требованиям нормативных документов РФ.

Список литературы

1. *Булгаков С.Н., Тамразян А.Г., Рахман И.А., Степанов А.Ю.* Снижение риска в строительстве при аварийных воздействиях природного и техногенного характера. М.: МАКС Пресс, 2004.
2. *Мкртычев О. В.* Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография. / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. унив-т. – М.: МГСУ, 2010. – 152 с.
3. *Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б.* Безопасность зданий и сооружений при взрывных воздействиях. Вестник НИЦ «Строительство». Исследования по теории сооружений: Сб. статей. Вып. 3-4 (XXVIII) / под ред. И.И. Ведякова и Г.С. Варданяна. – М.: НИЦ «Строительство», 2011. – 21 с.

05.23.01

А.Р. Туснин д.т.н.

Московский государственный строительный университет,
институт строительства и архитектуры, кафедра металлических конструкций,
Москва, valeksol@mail.ru

РАСЧЕТ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ КРУТЯЩИХ НАГРУЗОК

При стеснённом кручении балок в дополнение к нормальным напряжениям от изгиба в них возникают секториальные напряжения. В статье приводится инженерная методика расчёта балок с учётом их стеснённого кручения. Методика разработана с использованием многовариантных численных расчётов.

Ключевые слова: *балка, крутящий момент, устойчивость*.

Крутящий момент оказывает значительное влияние на несущую способность двутавровых балок. В связи с этим практический интерес представляет разработка инженерной методики расчета балок при действии крутящего момента.

Рассмотрим двутавровую балку, шарнирно опертую по концам и загруженную в середине пролета сосредоточенной силой P с эксцентриситетом относительно продольной оси балки e. Дифференциальное уравнения углов закручивания балки относительно продольной оси имеет вид:

$$GI_t \frac{\partial \theta}{\partial x} - EI_\omega \frac{\partial^3 \theta}{\partial x^3} = M_t, \tag{1}$$

где GI_t - жесткость контура при чистом кручении; EI_ω - его секториальная жесткость; $\theta = \frac{2v}{h}$ - угол закручивания; v - горизонтальные перемещения полки; h - высота сечения; $M_t = Pe$ - крутящий момент; P - сосредоточенная сила; e - эксцентриситет.

С учетом выражений для θ и M_t уравнение, (1) примет вид:

$$GI_t \frac{\partial v}{\partial x} - EI_\omega \frac{\partial^3 v}{\partial x^3} = \frac{Peh}{2}. \tag{2}$$

Введем относительные координаты и перемещения:

$$\bar{x} = \frac{x}{l}, \qquad \bar{v} = \frac{v}{l}, \tag{3}$$

где l - пролет балки. После подстановки относительных координат и перемещений в (2), уравнение, определяющее деформации балки при действии крутящих нагрузок, можно представить в виде:

$$k^2 l^2 \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}} - \frac{\partial^3 \bar{v}}{\partial \bar{x}^3} = \overline{M_t}, \tag{4}$$

где $k = \sqrt{\frac{GI_t}{EI_\omega}}$ - изгибно-крутильная характеристика балки,

$$\overline{M}_t = \frac{Pehl^2}{2EI_\omega} \text{ - относительный крутящий момент.} \tag{5}$$

Для шарнирно опертой балки, загруженной сосредоточенной силой в середине пролета, предельная сила по прочности равна:

$$[P] = \frac{4R_y W}{l}, \tag{6}$$

где R_y - расчетное сопротивление стали, W - момент сопротивления сечения в вертикальной плоскости. Относительная сила, действующая на балку, равна:

$$\overline{P} = \frac{P}{[P]} = \frac{Pl}{4R_y W}. \tag{7}$$

Разделив (5) на (7) получим выражение для относительного эксцентриситета приложения нагрузки:

$$\bar{e} = \frac{\overline{M}_t}{\overline{P}} = \frac{2R_y Wehl}{EI_\omega}. \tag{8}$$

Таким образом, напряженно- деформированное состояние тонкостенной балки открытого профиля зависит от его пролета и жесткостных характеристик, величины эксцентриситета приложения сосредоточенной силы. Результаты численных расчетов при варьировании этих величин и постоянных относительных параметрах представлены в таблице 1. При проведении численного эксперимента использован вычислительный комплекс MSC NASTRAN V70.5. Балки моделировались конечными элементами оболочки, расчеты выполнены с учетом геометрической нелинейности системы. Первая балка имеет сечение размерами: ширина полок 80 мм, толщина полок 10 мм, высота стенки 300 мм, толщина стенки 5 мм. Вторая балка имеет сечение: ширина полок 260 мм, толщина полок 15,5 мм, высота стенки 660 мм, толщина стенки 1,2 мм. Рассмотрено два варианта приложения силы - к нижней и верхней полкам шарнирно опертой балки.

По данным таблицы 1 при одинаковых обобщенных относительных параметрах и месте приложения сосредоточенной силы коэффициент снижения несущей способности не зависит от пролета, жесткостных характеристик и эксцентриситета приложения силы (отличие не превышает 7%). Выявленные относительные параметры использованы при разработке инженерной методики расчета балки.

Таблица 1

Коэффициенты снижения несущей способности шарнирно опертой балки

l, см	172,2			700		
I_t, см^4	7,9			123,1		
I_ω, см^6	19200			4945000		
W, см^3	310,6			3493		
kl	2,169			2,169		
Место приложения силы	e, см	$\bar{e}$	Коэффициент снижения несущей способности $P/[P]$	e, см	$\bar{e}$	Коэффициент снижения несущей способности $P/[P]$
Нижняя полка	0	0	1,139	0	0	1,120
Верхняя полка			0,905			0,860
Нижняя полка	0,228	0,0407	1,087	0,595	0,0407	1,031
Верхняя полка			0,716			0,682
Нижняя полка	3,121	0,556	0,454	8,13	0,529	0,487
Верхняя полка			0,342			0,335

Предельная несущая способность балки двутаврового сечения определена на основании многовариантных численных расчетов с использованием конечных элементов оболочки, при варьировании относительных параметров и места приложения нагрузки, с учетом геометрической и физической нелинейности конструкции. Пролет и жесткостные параметры конструкции варьировались так, чтобы произведение изгибно-крутильной характеристикой балки на его пролет kl менялось в диапазоне от 0,8 до 7. Относительный эксцентриситет изменялся от 0 до 9, расчетное сопротивление от 210 до 515 Мпа. Предельная нагрузка соответствует появлению или новой формы равновесия, или горизонтального перемещения верхней полки, равного 1/200 пролета балки. Проверка несущей способности балки при действии крутящей нагрузки осуществляется по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_t W \sqrt[3]{\frac{R_y}{210}}} \le R_y \gamma_c, \qquad (9)$$

где φ_t- коэффициент, зависящий от kl, относительного эксцентриситета и места приложения нагрузки.

В таблице 2 даны значения φ_t для шарнирно закрепленной балки при действии сосредоточенной силы на нижнюю полку, в таблице 3 то же при действии на верхнюю полку. Значения φ_t в таблицах 2 и 3 увеличены в 1000 раз, произведение $\varphi_t \sqrt[3]{\frac{R_y}{210}}$ принимать не выше величин φ_b, где φ_b определяется для балки без крутящей нагрузки.

Последовательность расчета балок с учетом кручения следующая:

- определяются параметр kl и относительный эксцентриситет $\bar{e}$;
- линейной интерполяцией определяется значение φ_t по таблицам 2 или 3;
- проверяется несущая способность балки по формуле (9).

Таблица 2

Коэффициенты φ_t для проверки несущей способности балки при действии сосредоточенной силы, приложенной с эксцентриситетом к нижней полке

$\bar{e}$	**Коэффициенты φ_t при kl**															
	0,8	**1**	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**1,8**	**2**	**2,2**	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**6**	**7**
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	980	875	756	663	592	457	338
0,05	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	980	936	856	772	686	612	550	435	329
0,1	970	964	957	951	947	939	930	916	885	812	732	652	584	530	425	325
0,15	845	848	852	854	859	861	861	853	829	768	694	620	555	505	411	320
0,2	745	757	768	780	791	800	807	806	788	732	664	597	537	492	401	315
0,3	580	603	627	652	678	700	717	724	713	667	609	550	501	464	385	304
0,4	420	457	498	542	579	614	637	648	641	602	550	503	469	443	378	292
0,5	290	334	382	437	486	533	564	577	571	540	502	462	433	414	355	282
0,6	235	286	337	391	442	486	516	531	527	500	465	428	404	388	335	272
0,7	222	272	322	372	414	454	483	497	497	472	440	407	386	370	347	264
0,8	215	264	307	349	386	424	451	466	462	440	413	385	367	353	309	257
0,9	211	255	293	332	367	398	425	437	436	416	392	366	350	338	298	250
1	209	247	273	314	345	374	347	409	405	391	369	349	334	322	286	242
2	198	192	187	180	176	172	169	169	172	182	193	205	211	210	204	195
3	178	170	163	158	153	148	144	143	147	159	172	185	190	190	186	179
4	151	147	142	138	133	129	126	125	129	140	153	165	170	170	168	164
5	127	123	120	116	113	110	108	107	111	122	134	144	150	150	149	148
6	102	100	98	96	93	92	90	90	93	104	115	124	130	130	131	132
7	77	76	75	74	73	72	72	72	75	85	95	105	110	112	115	116
8	54	54	54	54	54	54	54	54	57	66	76	85	91	93	98	101
9	30	31	31	32	33	34	36	37	41	49	57	65	71	74	80	85

При малых эксцентриситетах потеря несущей способности проявляется в резком возрастании углов закручивания и горизонтальных перемещений при нагрузке, равной критической. При больших эксцентриситетах, определяющей является деформация балки. По данным таблиц 2 и 3 можно определять предельные силы для балок с допустимыми горизонтальными прогибами верхней полки 1/200 пролета. При других значениях предельно допустимых горизонтальных прогибов кроме расчета несущей способности по формуле (10) необходим расчет перемещений.

Таблица 3

Коэффициенты φ_t для проверки несущей способности балки при действии сосредоточенной силы, приложенной с эксцентриситетом к верхней полке

$\bar{e}$	**Коэффициенты φ_t при kl**															
	0,8	**1**	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**1,8**	**2**	**2,2**	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**6**	**7**
0	1000	1000	1000	1000	1000	961	903	849	772	643	566	397	322	284	233	202
0,05	970	912	860	813	767	724	682	634	592	513	438	368	316	282	231	195
0,1	950	884	822	770	716	675	632	595	546	478	414	352	305	272	222	192
0,15	680	662	643	624	606	586	569	548	516	463	403	396	295	267	221	190
0,2	600	588	577	566	554	59	578	514	488	440	380	334	289	262	221	190
0,3	485	482	477	473	468	465	457	450	487	397	351	307	273	249	214	186
0,4	375	378	383	386	390	394	395	394	388	363	333	280	260	240	208	183
0,5	270	285	297	310	322	330	337	342	337	324	303	278	256	238	208	180
0,6	235	250	265	277	292	302	309	314	312	297	277	256	232	218	195	175
0,7	210	227	244	256	269	281	287	292	289	277	263	243	223	210	190	171
0,8	200	214	227	239	252	264	272	276	275	267	253	238	217	205	186	169
0,9	180	195	212	227	243	256	265	269	269	261	248	232	215	204	184	166
1	155	179	197	212	224	234	241	245	245	239	229	217	203	193	178	162
2	70	82	92	103	114	122	127	133	137	143	146	148	147	146	143	136
3	60	70	82	92	102	109	116	121	125	131	134	137	136	145	132	124
4	55	64	74	82	90	97	103	108	112	118	122	124	124	123	119	111
5	45	55	65	75	85	92	98	103	106	111	113	114	113	112	107	99
6	40	48	55	61	67	72	77	80	85	92	98	102	102	101	96	87
7	30	37	45	50	55	60	64	68	72	79	85	90	91	90	84	75
8	27	30	34	38	42	46	49	53	57	65	72	78	79	78	72	62
9	19	22	25	28	31	33	37	39	44	52	59	66	68	67	60	50

Список литературы

1. *Туснин А.Р.* Несущая способность двутавровой балки при действии крутящих нагрузок // Монтажные и специальные работы в строительстве.- 2003.- №2.- С.4-6.

05.13.12

[1]А.Г. Уймин, [2]В.И. Суханов д.т.н.

[1]Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, au-mail@ya.ru

[2]Уральский федеральный университет, кафедра ПСС ФУО УрФУ,
Екатеринбург, cyx-fat@mail.ru

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В работе представлены результаты разработки современной отечественной ГГИС на базе открытого программного обеспечения. За основу ГГИС взята распределенная архитектура приложения, что позволяет обеспечить хранение геометрии рудных тел и элементов карьера в базе данных. Для работы с приложением через web использован картографический сервер GeoServer; качестве геометрического ядра – ядро OpenCASCADE. Проведен сравнительный анализ облачных хранилищ.

Ключевые слова: *облачные вычисления, база данных, моделирование месторождения и карьера*.

Современный уровень развития вычислительной техники позволяет говорить об аппаратном и программном обеспечении как о ресурсе, который должен быть оптимален по соотношению цена – качество.

Облачные вычисления вобрали в себя много идей из предшествующих концепций, и потому они изначально носят более разносторонний характер: их можно понимать и как техническую парадигму, и как маркетинговый термин, и как перспективное направление для НИОКР и академических исследований. По сути, в облачные вычисления вложили все те идеи, которые накапливались в отрасли в течение предыдущих полутора десятилетий. На рисунке 1 показаны технологии и подходы, вошедшие в основу облачных вычислений.

Рисунок 1 – Технологии и подходы, вошедшие в основу облачных вычислений.

В основе современной облачной парадигмы лежит большое количество технологий и подходов, среди которых:

– виртуализация;

– сервис-ориентированная архитектура (Service-Oriented Architecture, SOA) – модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам [1];

– программное обеспечение как услуга (software as a service, SaaS) – бизнес-модель продажи и использования программного обеспечения, при которой поставщик разрабатывает веб-приложение и самостоятельно управляет им, предоставляя заказчику доступ к программному обеспечению через Интернет [2];

– предоставление приложений в режиме услуг (Application Service Provider, ASP) – предоставление приложений необходимых потребителю в режиме услуг технологической площадки поставщика услуг [3];

– Utility-компьютинг – это предоставление компьютерных ресурсов для обработки и хранения данных в качестве сервиса, оплачиваемого в зависимости от объема потребляемых ресурсов [4];

– Грид-вычисления (англ. grid — решётка, сеть) – это форма распределённых вычислений, в которой «виртуальный суперкомпьютер» представлен в виде кластеров соединённых с помощью сети, слабосвязанных, гетерогенных компьютеров, работающих вместе для выполнения огромного количества заданий (операций, работ) [5];

– Распределённые масштабируемые вычисления – способ решения трудоёмких вычислительных задач с использованием нескольких компьютеров, чаще всего объединённых в параллельную вычислительную систему с возможностью масштабирования [6] и др.;

Современная облачная инфраструктура делает свои первые шаги. Поэтому облачная стандартизация сейчас набирает обороты. Организация IEEE недавно объявила о начале работы над двумя проектами облачных стандартов, первый из которых — IEEE P2301 — будет содержать перечни стандартов и спецификаций, необходимых для создания совместимых облачных систем, а второй — IEEE P2302 — включит в свой состав базовые сведения и рекомендации по обеспечению интероперабельности и переносимости в «облаках» [7].

В большинстве современных приложений и технологических решений применяются базы данных. Необходимость совместного доступа многих специалистов к горно-геологической информации горного предприятия может быть реализована средствами размещения баз данных в облаке, доступ к которому обеспечивается провайдерами облачных сервисов в формате 24x7. Поэтому при разработке современной отечественной ГГИС на базе открытого программного обеспечения было решено за основу взять распределенную архитектуру приложения и обеспечить хранение геометрии рудных тел и элементов карьера в базе данных. Для работы с приложением через web был выбран картографический сервер GeoServer. В качестве геометрического ядра было выбрано ядро OpenCASCADE. Такким образом в такой архитектуре разрабатываемое приложение может выполняться на независимых друг от друга серверах, обмениваясь данными между модулями. Схематично работа ГГИС представлена на рисунке 2.

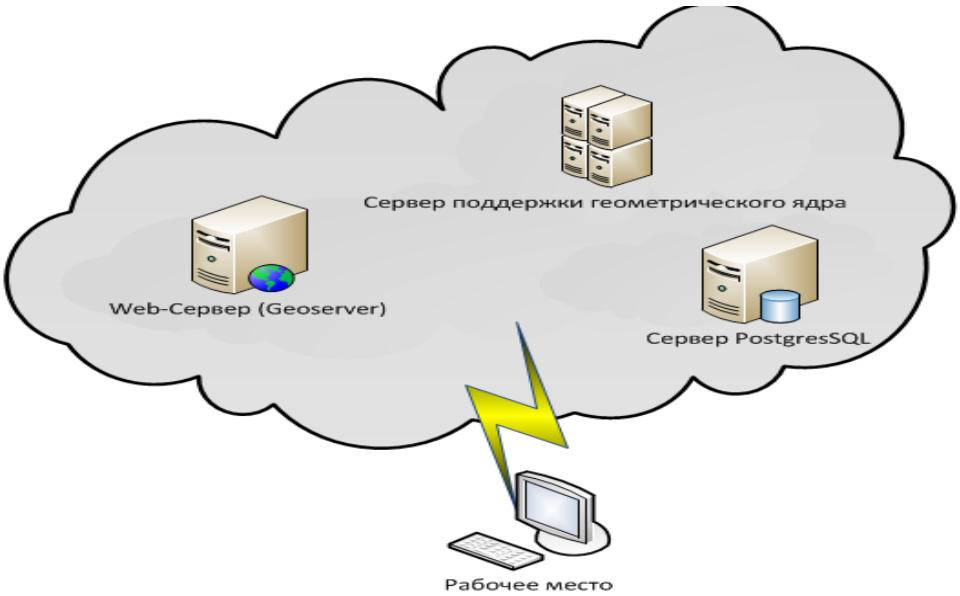


Рисунок 2 – Модули ГГИС

Приложение позволяет перенести в облако три основных компонента:

1) Сервер баз данных;
2) Картографический сервер;
3) Сервер поддержки геометрического ядра.

При выборе СУБД для работы с геоиформацией, важно следовать реализации стандартов OGC, позволяющих интегрировать программные продукты, такие как открытый картографический сервер GeoServer, в систему. Для хранения в базе данных географической информации необходимо расширить базовый функционал базы данных поддержкой пространственных индексов R-Tree/GiST, а также функциями обработки геоданных. В разработанной системе реализовано хранение всей геометрии в базе данных, с выборкой во временную таблицу для визуализации и анализа нужных фрагментов. Это отличает систему от большинства ГГИС, в которых, геометрия хранится в классических структурах точек для каждого типа бровок и контуров рудных тел с последующим созданием во временной таблице нужной для визуализации и анализа геометрии.

Облачное хранилище данных — модель онлайн-хранилища, в котором данные хранятся на многочисленных, распределённых в сети серверах, предоставляемых в пользование клиентам, в основном третьей стороной [8]. В противовес модели хранения данных на собственных, выделенных серверах, приобретаемых или арендуемых специально для подобных целей, количество или какая-либо внутренняя структура серверов клиенту, в общем случае, не видна. Данные хранятся, а равно и обрабатываются, в так называемом облаке, которое представляет собой, с точки зрения клиента, один большой, виртуальный сервер.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили коммерческие SQL сервисы:

Amazon Relational Database Service: Являясь одной из первых облачных БД, Amazon Web Services’ RDS. В июне 2011 была добавлена поддержка БД Oracle [9].

Clustrix Database as a Service: предоставляет пользователю высокопроизводительное оборудование и масштабируемые возможности MySQL.

EnterpriseDB Postgres Plus Cloud Database: предоставляет пользователю БД PostgreSQL и ее облачную версию Postgres Plus. Postgres Plus Cloud включает такие функции, как высокая доступность кластеров, большое число соединений и совместимость со средами Oracle.

Google Cloud SQL: легко интегрируется со всеми остальными облачными сервисами Google. Cloud SQL географически реплицирована для максимальной доступности.

Heroku Postgres: эта БД разработана для надежности и защиты информации. Одной из наиболее интересных особенностей этой БД является Data Clips, которая позволяет пользователям отправлять результаты SQL-запросов кому-то другому через url.

HP Cloud Relational Database for MySQL: БД разработана на OpenStack, которая, теоретически, должна облегчить процесс переноса БД из одного облака в другое.

IBM SmartCloud Application Services: сервис базируется на основе технологии DB2 Server и является частью the SmartCloud Application Services.

Microsoft SQL Database является критическим компонентом новой стратегии Microsoft на гибридных облаках.

Oracle Database Cloud Service предназначен не для всех, а лишь для пользователей БД Oracle, которые хотят использовать облачный хостинг.

Xeround: обладает хорошей гибкостью: развернуть ее можно практически в любом облаке.

Обзор показывает, что большинство облачных сервисов реализованы на базе наиболее распространенных SQL баз данных. Поэтому можно говорить о возможности повторного использования, комбинированных шаблонов, необлачных СУБД.

Картографические web-сервисы, которые позволяют получать удаленный доступ к данным, хранящимся на внешнем сервере (например, корпоративной ГГИС), при этом давая пользователю возможность редактирования и анализа данных, что сравнимо с настольной ГГИС. В создаваемой ГГИС использован GeoServer, который реализует спецификацию WFS-T (WFS-Transaction). Используя GeoServer, мы не только получаем данные для построения на их основе модели разработки открытого месторождения, но также редактируем полученные данные с последующим автоматическим обновлением исходной информации на сервере.

Сервер поддержки геометрического ядра OpenCASCADE предлагается развертывать на свободном системном программном обеспечении. Например, на базе проекта компании Red Hat - OpenShift, в рамках которого развивается специально оптимизированное для разработчиков открытого ПО PaaS-решение (платформа как сервис), предназначенное для выполнения конечных приложений в облачных окружениях [10]

Список источников

1. Что такое SOA? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.finecosoft.ru/soa Дата обращения: 08.09.2012
2. Все факты о SaaS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.finecosoft.ru/soa Дата обращения: 08.09.2012
3. Application Service Provider [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Application_service_provider Дата обращения: 08.09.2012
4. Utility computing для руководителя [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.osp.ru/cio/2005/12/379741/ Дата обращения: 08.09.2012
5. Грид [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://wiki.telekomza.ru/wiki/Грид Дата обращения: 08.09.2012
6. Основы масштабирования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/15362/ Дата обращения: 08.09.2012
7. CloudTechnology [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.cnews.ru/mag/2011/CloudTechnology.pdf Дата обращения: 08.09.2012
8. Облачные хранилища данных [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.it-world.ru/news/master/182073.html Дата обращения: 08.09.2012
9. Amazon Relational Database Service [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://aws.amazon.com/rds/ Дата обращения: 08.09.2012
10. OpenShift [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://openshift.redhat.com/app/ Дата обращения: 08.09.2012

Работа поддерживается Министерством образования и науки Российской федерации, ГК №14.514.11.4014

05.23.05

В.А. Ушков к.т.н., М.Г. Бруяко к.т.н., Л.С. Григорьева к.х.н., Е.В. Сокорева

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет»,
Институт строительства и архитектуры,
кафедра Полимерных строительных материалов и прикладной химии,
Москва, pehel@yandex.ru

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И ГОРЮЧЕСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

В работе рассмотрено влияние фосфорсодержащих антипиренов на термостойкость, горючесть и эксплуатационные свойства строительных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров. Выявлена оптимальная концентрация фосфорсодержащих антипиренов для получения слабогорючих заливочных пенопластов.

Ключевые слова: *пенопласт, термостойкость, горючесть, прочность, антипирен, эксплуатационные свойства.*

Особую актуальность в настоящее время приобретает снижение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя от производителя к потребителю. В условиях РФ эти потери приближаются к 370 млн. т условного топлива из 1400 млн. т условного топлива, производимого в стране за год [1]. С введением более жестких нормативов к тепловой изоляции, возникла необходимость в использовании более эффективных теплоизоляционных материалов при прокладке новых и ремонте существующих теплосетей. В качестве таких материалов широкое применение получили пенопласты на основе реакционноспособных олигомеров [2-4]: жесткие пенополиуретаны (ППУ), марок ППУ-3с, ППУ-307, ППУ-309м, ППУ-317, ППУ-331, резольные пенофенопласты (ПФП) марок ФРП-1, Резопен, Виларес-400, Виларес РНП и карбамидные пенопласты (КФП) марок МФП-1, МФП-2, МФП-3, юнипор, пеноизол и другие.

Повышенная горючесть пенопластов сдерживает их более широкое применение в строительстве [5,6], поэтому снижение горючести пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров является актуальной задачей.

Жесткие ППУ получали на основе простых оксипропилированных полиолов – Лапрола-503 и Лапрола-805 (ТУ 226-009-10488057-94). Катализаторами вспенивания и отверждения ППУ являлась смесь азотсодержащего полиола (Лапромол-294, ТУ 226-010-10488057-94) с диметилэтаноламином (ТУ 2423-004-78722668-2010), а вспенивающим агентом – смесь хладона-11 и воды. Резольный ПФП марки ФРП-1 получали на основе смолы марки ФРВ-1А (ТУ 6-05-1104-78) и вспенивающе-отверждающего агента ВАГ-3 (ТУ 2257-008-58948815-2003), а КФП – на основе смолы марки КФ-МТ (ГОСТ 14231-88), ОП-10, вспенивающего агента (хладон-11) и отверждающего агента – водного раствора ортофосфорной кислоты. Пенопласты получали методом заливки в замкнутые плоские формы размером 0,6×0,3×0,07м.

Для снижения горючести и склонности к тлению КФП и резольных ПФП использовали неорганические фосфаты, фосфатные пластификаторы с концентрацией фосфора ([ρ]) 8,11-10,86%, трианилидофосфат ([ρ]=9,56%), фосдиол ([ρ]=15,5%), фостетрол-1 ([ρ]=14,7%), 2-фосфоноксиэтилметакрилат ([ρ]=14,3%) и фосфокрилат ([ρ]=8,7%). Фосфорсодержащим компонентом при получении жестких ППУ является оксиэтилированный фосполиол, содержащий 15,2 % фосфора и 11 % гидроксильных групп. Температуры воспламенения ($T_в$), тления ($T_{тл}$) и самовоспламенения ($T_{св}$), кислородный индекс (КИ) пенопластов оценивали по ГОСТ 12.1.044-89, а горючесть – по ГОСТ 30244-94. Технологические и физико-механические свойства пенопластов определяли по общепринятым методикам, а

термостойкость –термогравиметрическим методом с помощью «Дериватограф-Q» фирмы МОМ при скорости нагрева образцов массой 15-20 мг 5-20 °С/мин.

В результате проведенных исследований установлено, что горючесть теплоизоляционных изделий на основе реакционноспособных олигомеров зависит от кажущей плотности пенопластов (рис.1), химической природы и соотношения исходных компонентов, температуры и продолжительности теплового старения изделий. Так, например, при изменении плотности ПФП марки ФРП-1 с 45 до 153 кг/м^3 и соотношения ФРВ-1А : ВАГ-3 от 7:1 до 3:1 КИ изменяется в пределах от 33,7 до 42 %, $T_{тл}$ – от 330-360°С, $T_в$ – от 470 до 500°С, $T_{св}$ – от 540 до 600°С. С ростом температуры старения ФРП-1 плотностью 79,8 кг/м^3 в течение 100 часов с 40 до 160°С КИ пенофенопласта снижается с 36,4 до 35,5% (рис.2).

Эффективным реакционноспособным антипиреном при получении умеренногорючих жестких ППУ являются фосфорсодержащие полиолы. Установлено, что с ростом содержания фосполиола в полиэфирной составляющей до 80 % и, следовательно, концентрации фосфора в пенопласте до 4% незначительно повышается плотность ППУ (на 4-7 кг/м^3) , что связано с изменением параметров вспенивания и отверждения пенопласта. Одновременно возрастает водопоглощение (с 3,8 до 7,4 объемн. %), и гигроскопичность (с 1,52 до 2,85 %) ППУ. Повышенная способность фосфорсодержащих ППУ к увлажнению обусловлена большей гидрофильностью оксиэтилированного фосполиола по сравнению с простыми оксипропилированными полиолами. С ростом концентрации фосфора в жестких ППУ до 3,06 % их термостойкость незначительно снижается: температура начала интенсивного разложения ($T_{нр}$) на воздухе снижается с 210 до 182 °С.

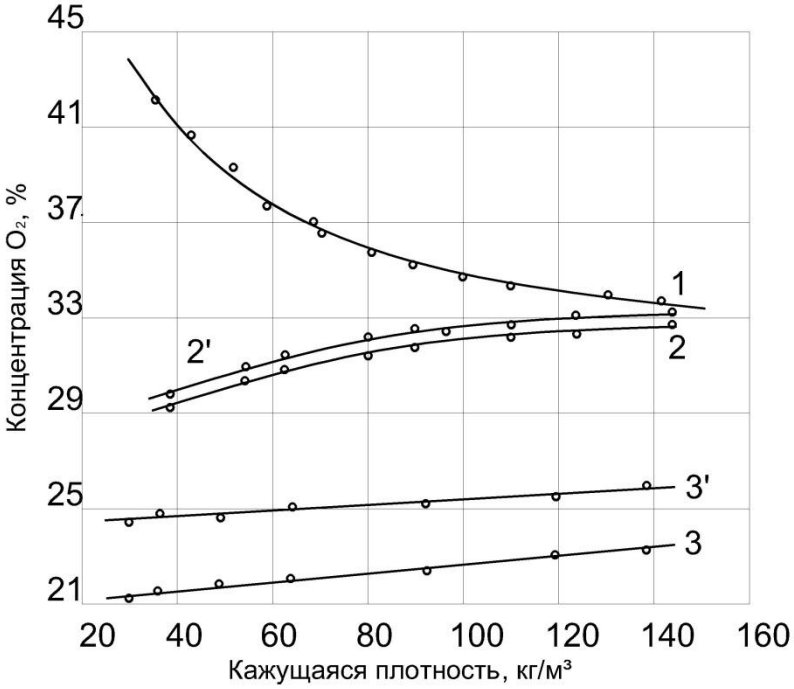


Рис. 1– Зависимость горючести заливочных пенопластов от их кажущейся плотности: 1– ПФП; 2– КФП; 3– ППУ; 2´,3´– $c_{пр}$.

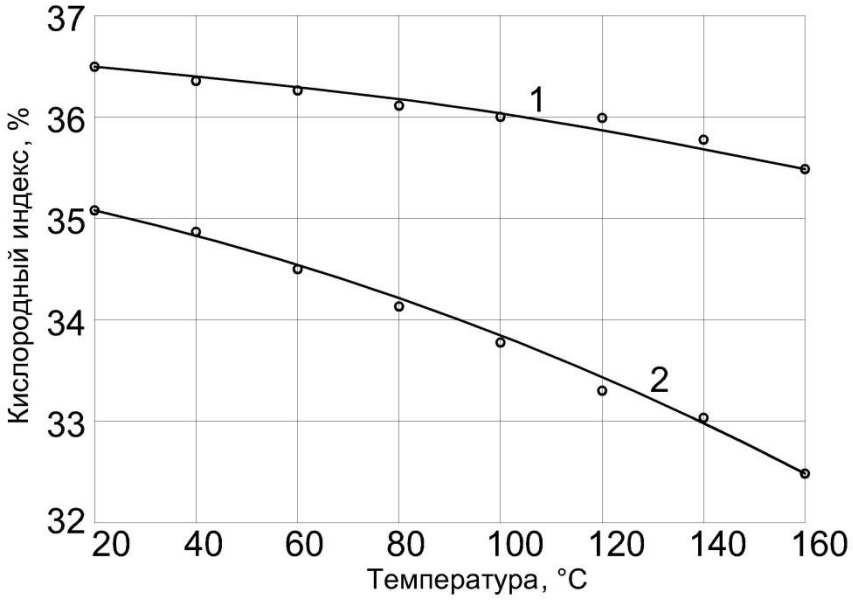


Рис. 2– Зависимость горючести резольных ПФП от температуры старения:
1– пенопласт плотностью 79,8 кг/м^3; 2– пенопласт плотностью 99,5 кг/м^3

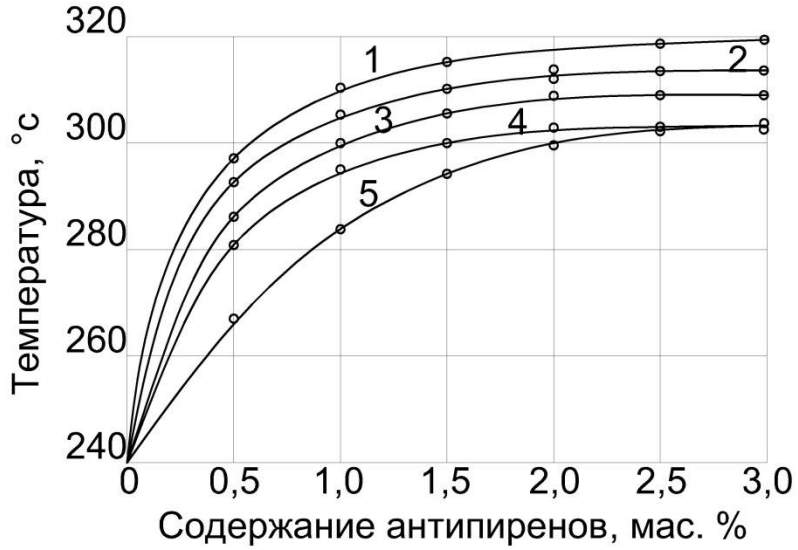
Установлено, что при 2,0≤[р] <3,8 % жесткие ППУ относятся к группе умеренногорючих материалов, а при [р]>3,8 – к группе слабогорючих материалов. Оптимальной [р] в жестких ППУ является 2,5–3,0 %, т. е. содержание фосполиола в полиэфирной смеси должно быть не более 50–70 % от массы гидроксилсодержащих оксипропилированных полиолов. В этом случае ППУ обладает не только пониженной горючестью, но и высокими эксплуатационными показателями.

Эффективными реакционноспособными антипиренами, снижающими склонность к тлению и горючесть резольных ПФП, являются полиолы и олигоэфирметакрилаты, содержащие 8,7-15,5% фосфора. Фосфор-органические антипирены, содержащие метакрилатные или гидроксильные группы, практически не влияют на технологические свойства фенольных пенопластов, но снижают горючесть и склонность к тлению ПФП, повышают качество теплоизоляционных изделий на их основе за счет более равномерного распределения температур по всему объему вспенивающейся массы.

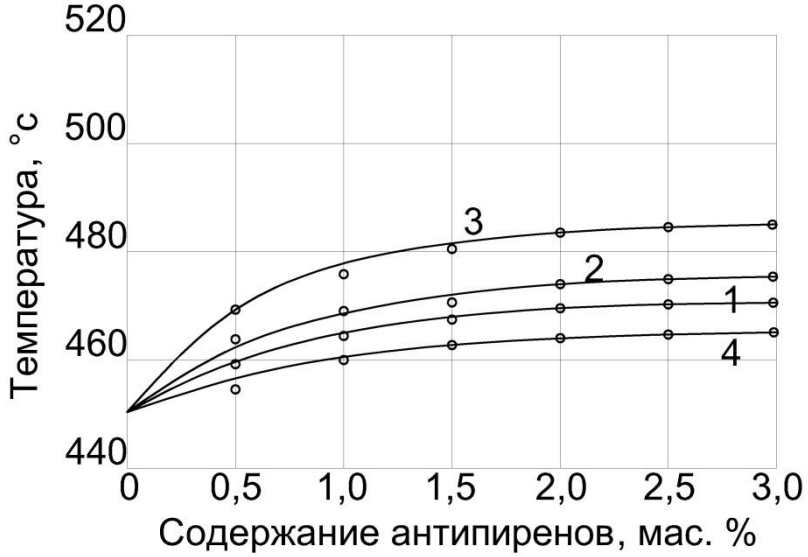
С ростом содержания фосфорорганических соединений возрастает и $T_{тл}$ фенольных пенопластов: температура тления повышается с 340 до 355- 410°С при введении 7,7 мас.% антипиренов. Подавление процесса тления пенофенопластов при использовании фосфорорганических соединений происходит за счет резкого снижения интенсивности тепловыделения в результате уменьшения скорости и теплоты реакции окисления карбонизованного остатка. При этом тление ПФП не наблюдается при концентрации фосфора в материале равном 0,6-0,7%. Слабогорючие, нетлеющие после удаления пламени, фенольные пенопласты получены при содержании указанных соединений 4,0-5,9 мас.%. При этом КИ пенофенопластов изменяется в пределах 40,7-50,3%, а температура тления в пределах –345-385°С.

Термоокислительная стабильность КФП мало зависит от метода синтеза карбамидных олигомеров, химической природы вспенивающего агента и способа получения пенопласта. Так, $T_{нр}$ пенопласта марки МФП-3 (воздушно-механическое вспенивание), пенопластов на основе смолы сухих карбамидных смол и смолы КФ-МТ (физическое вспенивание) составляет 185, 195 и 175 °С соответственно, а температура максимальной скорости разложения ($T_{макс}$) всех видов пенопластов — 260 °С.

С ростом содержания исследованных фосфорсодержащих антипиренов до 3 мас. % горючесть КФП закономерно снижается: КИ возрастает с 34 до 40-40,3%, температуры воспламенения и самовоспламенения повышается с 240 и 450°С до 305-320 и 465-485°С (рис.3.) соответственно. Для слабогорючих КФП, обладающих высокими технологическими и эксплуатационными свойствами, содержание исследованных артипиренов составляет ~2% (концентрация фосфора = 0,2-0,3%). При их содержании более 2 мас. % резко возрастает индукционный период, продолжительность вспенивания и плотность пенопластов. При этом диаммонит фосфат, как и для ПФП марки ФРП-1, в большей степени, чем другие фосфорсодержащие антипирены ингибирует вспенивание и отверждение КФП. Это обусловлено изменением pH исходной композиции. Низкая концентрация антипиренов для получения слабогорючих КФП связана с использованием в качестве отверждающего агента водного раствора ортофосфорной кислоты.



а)



б)

Рис. 3– Зависимость температур воспламенения (а) и самовоспламенения (б) КФП от содержания антипиренов:1 – дифенил(изобутилфенил)фосфат; 2 – трикрезилфосфат; 3 – трианилдовосфат; 4 – фосфорсодержащий олигоэфирметакрилат; 5 – диаммоний фосфат

Таким образом, применение оптимального содержания фосфорсодержащих антипиренов позволяет получать слабогорючие строительные пенопласты на основе реакционноспособных олигомеров, обладающих высокими эксплуатационными показателями.

Список литературы

1. *Валгин В.Д.* Отечественная энергосберегающая технология теплоизоляции строительных конструкций с использованием пенопласта нового поколения //Пластические массы. - 2007.- № 10. - С. 44-48.
2. *Клемпнер Д.* Полимерные пены и технологии вспенивания: Пер с англ. / под ред. А.М. Чеботаря. – СПб.: Профессия, 2009.- 600с.
3. *Кулешов И.В., Торнер Р.В.* Теплоизоляция из вспененных полимеров.- М.: Стройиздат.,1987.-144с.
4. *Берлин А.А., Шутов Ф.А.* Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров.- М.: Химия, 1976.-296с.
5. *Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я.. Ушков В.А. и др.* Пожарная опасность строительных материалов / под ред. А.Н. Баратова.-М.:Стройиздат., 1977.-С. 179-277.
6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справ. изд. в 2- книгах /под ред. А.Н. Баратова и А.Я. Корольченко/.М.: Химия, 1990.-384с.

05.23.01

В.Б. Филатов к.т.н.

Самарский государственный архитектурно – строительный университет,
факультет промышленного и гражданского строительства,
кафедра железобетонных и каменных конструкций,
Самара, vb_filatov@mail.ru

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНОГО ПЕРИМЕТРА ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЛОСКИХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

В работе предлагается методика определения величины периметра расчетного контура при продавливании железобетонных монолитных плоских плит перекрытий колоннами прямоугольного сечения. Показано, что предлагаемая методика позволяет улучшить сходимость расчетных и опытных данных.

Ключевые слова: *монолитный железобетон, плоская плита перекрытия, колонна, продавливание.*

В нормативных документах [1 – 3] расчетная модель при продавливании железобетонных плоских плит построена в предположении, что разрушение происходит по поверхности так называемого «тела продавливания» вследствие преодоления предела прочности бетона растяжению (срезу). «Тело продавливания» – геометрическая фигура, форма и размеры которой определяются формой и размерами площадки нагружения, а также углом наклона прямолинейной образующей, соединяющей периметр площадки нагружения с противоположной гранью плиты.

В расчетной модели рассматривается расчетное поперечное сечение нормальное к плоскости плиты и расположенное на расстоянии $h_0/2$ ($1{,}5h_0$ в [3]) от граней колонны или контура площадки нагружения. Усилие продавливания, создающее на поверхности расчетного контура поперечного сечения касательные напряжения, должно быть воспринято за счет сопротивления бетона растяжению. Работа поперечной арматуры в пределах расчетного контура поперечного сечения и действие изгибающего момента в данной статье не рассматривается.

Данная модель успешно применяется при расчете на продавливание плоских плит, площадка нагружения которых имеет круглую или квадратную форму, то есть, когда можно допустить, что напряжения по периметру расчетного контура распределяются равномерно. При продавливании плиты колонной прямоугольной формы сечения расчетные значения удовлетворительно соответствуют опытным данным, если отношение сторон колонны (площадки нагружения) не превышает 2. В противном случае расчетные значения превышают опытные, что свидетельствует о несоответствии предпосылок расчетной модели фактическому характеру работы при продавливании узла сопряжения колонны и плоской плиты перекрытия.

Для приведения в соответствие расчетных и опытных данных используются разные способы. В одном случае в формулу вводится поправочный коэффициент [2], который понижает величину периметра расчетного контура, если соотношение сторон колонны превышает 2. Формула для определения величины поправочного коэффициента установлена на основании результатов выполненных ранее немногочисленных экспериментальных исследований, на которые и ссылается нормативный документ [2]. В нормах [3] с этой же целью предлагается при определении периметра расчетного контура не учитывать его часть вдоль длинной стороны колонны.

В российских нормах [1] при размерах прямоугольной площадки опирания $a \times b$ периметр расчетного контура поперечного сечения предлагается определять по формуле

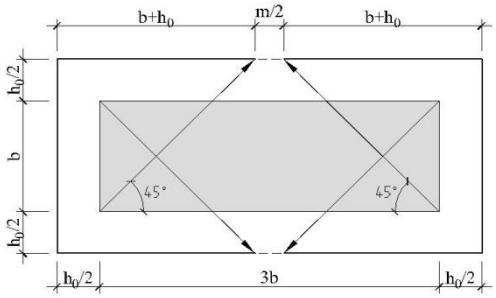
$u = 2(a+b+2h_0)$. Рекомендации по учету соотношения сторон колонны (геометрической формы площадки нагружения) отсутствуют. Между тем, ввиду большого разнообразия геометрических форм и конструктивных решений, реализуемых в процессе стремительного развития монолитного домостроения, возможность расчетной оценки указанного аспекта позволит повысить надежность и конструктивную безопасность проектных решений.

Количество экспериментальных исследований посвященных рассматриваемому вопросу весьма немногочисленно. Среди последних исследований можно отметить работу [4], в которой представлены результаты испытаний образцов с отношением сторон колонны равным – 1 (образец ОС11), 3 (образец ОС13), 5 (образец ОС15). Образцы, испытанные авторами [4], представляли собой плоскую железобетонную плиту, которая продавливалась центрально расположенной колонной. Бетонирование колонны и плиты производилось одновременно. Поперечное армирование плиты в зоне продавливания не выполнялось. По результатам испытаний образцов получены следующие значения разрушающих нагрузок: ОС11 – 423 кН, ОС13 – 568 кН, ОС15 – 649 кН.

Расчетные значения продавливающей силы (F_{pre}), определенные по формуле (3.177) [1], имеют удовлетворительную сходимость с опытными данными (V_{exp}) только для образца с квадратным сечением колонны ОС11 – F_{pre} / V_{exp} = 0,891. Для колонн с прямоугольным сечением расчетные значения превышают опытные, причем превышение увеличивается с увеличением отношения сторон колонны. Так, для образца ОС13 – F_{pre} / V_{exp} = 1,032, для образца ОС15 – F_{pre} / V_{exp} = 1,384.

Для приведения в соответствие расчетных и опытных данных выполним корректировку величины периметра расчетного контура. При продавливании железобетонных плит колоннами прямоугольного сечения отмечено, что область наибольших деформаций в плите расположена у коротких граней колонны, вдоль длинных граней деформации плиты уменьшаются в направлении центра колонны. Принимая во внимание отмеченную особенность напряженного состояния плиты, определение периметра расчетного контура поперечного сечения будем выполнять в соответствии с геометрическими схемами, приведенными на рис. 1.

а)



б)

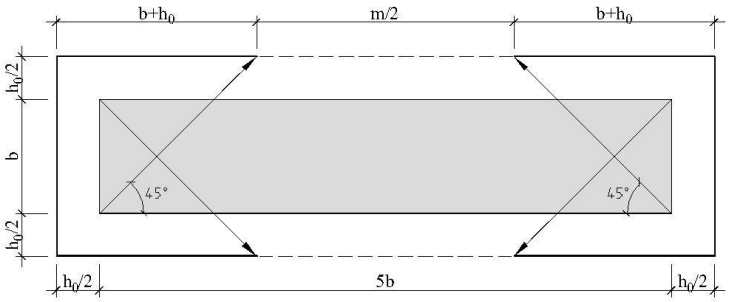


Рис. 1 – Схема определения периметра расчетного контура поперечного сечения для образцов ОС13 (а), ОС15 (б)

Периметр расчетного контура поперечного сечения при продавливании плоской плиты прямоугольной колонной уменьшаем на величину **m**, определение которой очевидно из рис. 1. Величина **m** состоит из двух отрезков периметра расчетного контура, расположенных

симметрично вдоль длинной стороны колонны. Исключение величины **m** из периметра расчетного контура поперечного сечения косвенным образом учитывает то обстоятельство, что напряжения среза, действующие в плите в указанной области, либо запаздывают относительно тех же напряжений у коротких граней колонны, либо вовсе не успевают достигнуть предельных значений, вследствие продавливания плиты на участках, прилегающих к коротким граням колонны.

Для образца ОС13, испытанного авторами [4], значение **m** = 7,7% от величины периметра, определенного в соответствии с методикой [1], для образца ОС15 – значение **m** = 33,3%.

Подставляя скорректированные значения периметра расчетного контура поперечного сечения в формулу (3.177) [1], получим следующие отношения расчетных и опытных значений разрушающих нагрузок: для образца ОС13 – F_{pre} / V_{exp} = 0,952, для образца ОС15 – F_{pre} / V_{exp} = 0,923.

Авторами [4] выполнялся сопоставительный анализ результатов, полученных по предложенной ими методике расчета с результатами, полученными по методикам [2, 3]. Результаты анализа, представленные в [4], приведены в табл. 1 совместно с результатами расчета по методике российских норм [1], в том числе с учетом предложений автора.

Таблица 1 – Сравнение расчетных и опытных значений прочности при продавливании опытных образцов

Номер образца	V_{exp}, кН	F_{pre} / V_{exp}				
		ACI 318-05	Eurocode 2	Методика [4]	СП 52-101-2003	Предлаг. методика
ОС11	423	0,608	0,734	0,734	0,891	0,891
ОС13	568	0,637	0,670	0,736	1,032	0,952
ОС15	649	0,658	0,589	0,799	1,384	0,923
Среднее значение		0,634	0,664	0,756	1,102	0,922

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показывает, что наиболее консервативную оценку прочности при продавливании плоских плит с учетом соотношения сторон колонны дают американские нормы [2], причем с увеличением отношения сторон колонны расчетные значения растут быстрее опытных.

Расчет по европейским нормам [3] дает более точные результаты для квадратной колонны. Для прямоугольных колонн скорость роста расчетных значений меньше опытных, и в случае, если отношение сторон колонны превышает 3, европейские нормы [3] дают самую осторожную оценку прочности при продавливании плоских плит изо всех представленных методик. Это указывает на некоторую недооценку нормами [3] величины расчетного контура поперечного сечения, определяемую в зависимости от отношения сторон колонны.

Российские нормы [1] при соотношении сторон колонны больше 2 завышают прочность плоских железобетонных плит при продавливании, причем при отношении сторон колонны больше 3 это завышение очень значительно. Предлагаемая корректировка расчетного контура поперечного сечения при продавливании плоской плиты прямоугольной колонной с соотношением сторон больше 2 позволяет привести в соответствие расчетные значения, полученные по методике [1], с результатами экспериментальных исследований.

Список литературы

1. СП 52-101-2003, Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения. ФГУП ЦПП. М., 2004г.
2. ACI 318-05, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary. USA. 2005.
3. Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1: General rules and rules for buildings. 2007.
4. *Susanto Teng, Cheong H.K., Kuang K.L., Geng J.Z.* Punching Shear Strength of Slabs with Openings and Supported on Rectangular Columns // ACI Structural Journal. 2004. V. 101, № 5. p.p. 678 – 687.

05.23.05

А.И. Харченко, А.К. Дятлов, М.И. Баженов

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, bajenov.m@gmail.com

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Исследование влияние наномодификаторов на формирования структуры и свойств мелкозернистых бетонов. Показано, что с уменьшением содержания цемента в композиционном вяжущем растет открытая пористость, снижается морозостойкость. Получены данные, что с увеличением содержания наномодификатора повышается прочность мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: *Мелкозернистый бетон, наномодификатор, механохемическая активность, структура бетона.*

Освоение регионов Сибири и Крайнего Севера России является важной народнохозяйственной задачей. При этом, строительство во вновь осваиваемых регионах предполагает выполнение значительных объёмов строительно-монтажных работ в условиях отсутствия базы стройиндустрии, при ограниченных материально-технических ресурсах и предельно сжатых сроках на проектирование, организационно-техническую подготовку и собственно строительство. Эти особенности, характерные для строительства практически во всех Северных регионах России, обуславливают технико-экономическую целесообразность строительства из монолитного железобетона. При этом, отсутствие природных ресурсов для получения крупного заполнителя бетонов, компенсируется практически неограниченными запасами некондиционного мелкого кварцевого песка. Это обусловило целесообразность внедрения в практику монолитного домостроения мелкозернистых бетонов (т.н. пескобетонов) ориентированных на использование местной сырьевой базы. Однако, при производстве высокоподвижных мелкозернистых бетонов классов В30 – В45 с использованием мелких кварцевых пеков в качестве заполнителя, расход цемента превышает 550 – 600 кг на 1 м^3.

Для повышения эффективности мелкозернистых бетонов предлагается использование наномодификаторов, получаемых в результате механохимической активации местных некондиционных песков в помольном оборудовании нового поколения – дезинтеграторов с мобильной вертикальной рабочей камерой. [1,2]

Механохимическая активация некондиционных песков в таких активаторах ведет к полидисперсному увеличению их удельной поверхности, изменению структуры частиц на поверхности, образованию дополнительных дефектов в решетках минералов, которые ускоряют элементарные взаимодействия поверхностного слоя частиц, повышают их однородность и химическую активность. При анализе измельченного продукта методом лазерной гранулометрии было установлено, что в получаемом порошкообразном полифункциональном модификаторе содержатся также наночастицы размером около 120 нм.

Для установления влияния наномодификаторов на формирование структуры и свойств мелкозернистых бетонов были проведены комплексные исследования с применением математического планирования эксперимента. В качестве факторов влияния были выбраны: расход цемента, расход наномодификатора и суперпластификатора С-3. Расходы цемента и наномодификатора представлены в кг/м^3, расход суперпластификатора в % от массы композиционного вяжущего. Уровни варьирования факторов представлены в табл. 1.

Факторы и уровни их варьирования

Таблица 1

Наименование факторов		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральное	Кодовое	Верхний (+)	Средний (0)	Низкий (-)	
Цемент (Ц)	X1	585	520	455	65
Наномодификатор (М)	X2	195	130	65	65
Суперпластификатор (Д)	X3	1,5	1	0,5	0,5

В результате обработки экспериментальных данных была получена трехфакторная квадратичная модель, адекватно описывающая влияние исследуемых факторов на прочность при сжатии цементного камня на композиционном вяжущем, содержащем наномодификатор. Проверка адекватности полученного уравнения по критерию Фишера показало удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных.

$R = 45,2 + 8,4 X1 + 5.5 X2 + 3,4 X3 -0,7 X1^2 - 0,5 X2^2 + 1,9 X3^2 + 1,2 X1 X2$
$- 0,6 X1 X3 - 0,7 X2 X3$

Для установления зависимостей эксплуатационных свойств мелкозернистых бетонов с наномодификаторами от их состава и параметров структуры были выбраны 4 состава, представленные в табл. 2.

Составы и свойства мелкозернистых бетонов на композиционном вяжущем

Таблица 2

Расход материалов, кг/м^3				Средняя плотн., кг/м^3	Прочность при сж., МПа	Пористость,%
цемент	модификатор	вода	песок			
450	150	235	1280	2115	33,6	12,2
500	167	230	1235	2132	39,0	13,2
550	183	225	1288	2246	44,7	13,8
600	200	220	1243	2263	50,6	14,2

Примечание: расход суперпластификатора С-3 составил 1 % от массы цемента

Исследования проводились на призмах 4х4х16 см и образцах размером 7х7х7 см, которые твердели в нормальных условиях в течение 28 суток. Затем образцы были испытаны на изгиб и сжатие, а также были получены характеристики средней плотности и пористости, определенной по величине максимального водопоглощения под вакуумом.

Были проведены испытания «живучести» (сохраняемости подвижности) бетонной смеси, которую определяли по изменению расплыва конуса на встряхивающем столике по ГОСТ 310.4-81.

Анализ данных показывает, что мелкозернистые бетонные смеси в течение 1,5 часов сохраняют практически заданную удобоукладываемость П5.

Для рассматриваемых мелкозернистых бетонов установлены зависимости прочности и пористости от водовяжущего отношения (В/КВ) композиционного вяжущего:

$R = 166 – 626,226 В/ВК + 736,618 (В/КВ)^2$

$П = 15,33 + 4,18 В/ВК - 31,2 (В/КВ)^2$

$R = 492,978 – 77,22 П + 3,243 П^2$

Характер пор мелкозернистых бетонов определяли в процессе капиллярного всасывания. Капиллярное всасывание определяли по следующей методике: предварительно высушивали образцы при температуре 100-105° С до постоянной массы. Затем образцы, жестко закрепленные на штативе, погружали в сосуд с водой, который помещали на электронные весы. В процессе впитывания воды образцами изменяется масса воды на весах. Изменения показания весов характеризуют величину поглощенной воды бетонным образцом во

времени. Процесс капиллярного всасывания имеет экспоненциальный характер. Особенно интенсивно этот процесс проходит в первые 10 мин. У испытываемых образцов за одно и то же время глубина пропитки разная. Это свидетельствует о различном характере пор мелкозернистых бетонов с наномодификаторами. Мелкозернистые бетоны состава 4 из табл.2, отличающиеся повышенным содержанием цемента и модификатора, имеют меньшую глубину впитывания и, следовательно, меньший средний радиус пор. С уменьшением содержания цемента в композиционном вяжущем при постоянном содержании модификатора (25%) растет содержание открытых пор, способных насыщаться водой.

Для оценки морозостойкости исследуемых мелкозернистых бетонов был использован дилатометрический метод анализа структуры. Методика измерений заключается в следующем: образцы размером 7х7х22 см перед испытанием изолируются морозостойкой резиной. Затем образец устанавливается в рычажный дилатометр и помещается в климатическую камеру. Контроль за температурой осуществляется в камере и в середине образца. Температурно-влажностные деформации измеряются через каждые 5°С в интервале температуры от 20 до -30 ^{o}С. По результатам измерений строится график зависимости относительной деформации образца (ε) от температуры (Т).

Температурно-влажностные деформации бетонов в насыщенном водой состоянии в области отрицательной температуры характеризуются «приведенным удлинением» ($\varepsilon_{пр}$) , т.е. наибольшей деформацией (аномальное отклонение) относительно сухого образца . По значению $\varepsilon_{пр}$ можно определить морозостойкость исследуемого бетона по графикам, построенным по данным дилатометрических исследований стандартных образцов бетона определенной морозостойкости.

Значения «приведенного удлинения» образцов испытанных составов мелкозернистых бетонов составили соответственно $\varepsilon_{пр}$ = 10.10^{-5} для состава 4, $\varepsilon_{пр}$ = 10.2.10^{-5} для состава 3, $\varepsilon_{пр}$ = 12.5.10^{-5} для состава 2, $\varepsilon_{пр}$ = 13.5.10^{-5} для состава 1.

Одновременно морозостойкость бетонов определяли и по величине капиллярной пористости с помощью метода трехстадийного насыщения, который позволил выделить три группы пор. Объем пор каждой группы определяли экспериментально в результате трех последовательных стадий насыщения бетона. Первая группа пор (размером менее 10^{-5} см) определялась на образцах, находящихся над водой. Вторая группа пор, которая определялась при непосредственном соприкосновении с водой, характеризует наличие пор с радиусом более 10^{-5} см, от которых главным образом зависят морозостойкость, водонепроницаемость и прочность бетонов. Третья группа пор, так называемые условно замкнутые, определялась при насыщении под вакуумом.

Результаты определения трех групп пор представлены в табл. 3.

Характеристики пористости мелкозернистых бетонов с наномодификаторами

Таблица 3

№ составов из табл.12	Пористость первой группы П1,%	Пористость второй группы П2,%	Пористость третьей группы П3,%	Общая пористость По,%
1	4.0	7.0	1,2	12,2
2	5.6	6,5	1.1	13.2
3	6,8	6,0	1.0	13.8
4	7,8	5,5	0,9	14,2

По значению величины пористости второй группы и «приведенного удлинения» с помощью существующих зависимостей была определена морозостойкость мелкозернистых бетонов, которая составила 270-350 циклов.

Наличие микротрещин в бетоне значительно ухудшает его эксплуатационные свойства и долговечность. Изучение закономерностей возникновения и распространения трещин в бетоне при нагружении были использованы положения механики разрушения.

Определение прочности бетона при сжатии и растяжении, а также вязкости разрушения производилось на образцах с трещинами, которые формировались при их изготовлении. Хранились образцы в нормальных условиях в течение 28 суток. Значения коэффициентов интенсивности напряжений показаны в табл. 4

Прочность и трещиностойкость МЗБ

Таблица 4

№ составов из табл.2	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Кс Мн/м$^{3/2}$
1	33,6	3,59	2,15
2	39,0	4,42	2,27
3	44,7	5,07	2,61
4	50,6	5,57	2,96

Анализ данных табл.4 показывает, что повышение прочности и вязкости разрушения (Кс) мелкозернистого бетона при увеличении содержания в нем наномодификатора связано со снижением дефектности структуры композиционного вяжущего.

Выводы.

На основании проведённых исследований установлено, что механохимическая обработка мелких некондиционных кварцевых песков позволяет получать эффективные минеральные наполнители для вяжущих, являющихся наномодификаторам их свойств. Мелкозернистые бетоны, полученные на основе композиционных вяжущих с наномодификаторами, обладают повышенной удобоукладываемостью, прочностью, трещиностойкостью и долговечностью, при одновременном сокращении расхода цемента. Это обуславливает высокую технико-экономическую эффективность применения мелкозернистых бетонов в монолитном домостроении при освоении различных регионов Сибири и Крайнего Севера России.

Список литературы

1. *Алимов Л.А, Воронин В.В.* Технология строительных изделий и конструкций. Бетоноведение. Изд. Академия, М., 2010
2. *Баженов Ю.М.* Технология бетона, АСВ, М, 2008\

05.23.17

М.С. Хлыстунов к.т.н., Ж.Г. Могилюк к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

ВОЗБУЖДЕНИЕ ГАРМОНИК ПРОДОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА КОНСОЛИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

В статье рассматриваются резонансные эффекты возбуждения продольных упругих волн в консольном стержне при динамических нагрузках. Приведены результаты математического моделирования акустического импеданса и АЧХ стержня с учетом возбуждения высших гармоник основного резонанса.

Ключевые слова: *стержневые конструкции, динамические нагрузки, акустический импеданс, резонансные эффекты, высшие гармоники, электромеханические аналогии, эквивалентные схемы, дуальные схемы*.

В настоящей статье приведены отдельные результаты инициативных исследований авторов в области математического моделирования динамических процессов в элементах строительных конструкций, посвященные физическим принципам построения расчетных математических моделей, на примере возбуждения продольного резонанса и его высших гармоник в консольно закрепленном стержне.

В ряде статей авторов была рассмотрена схема динамического нагружения и закачки продольной акустической волны в консольно закрепленный стержень на рис.1, который, в общем случае, имеет бесконечное число степеней свободы, так как равномерно распределенные масса и жесткость стержня позволяют возбудить в нем неограниченное число резонансов различных мод колебаний и их гармоник. Простейшим способом возбуждения волновых процессов в стержне является ударное или вибрационное воздействие на узел его консольной заделки.

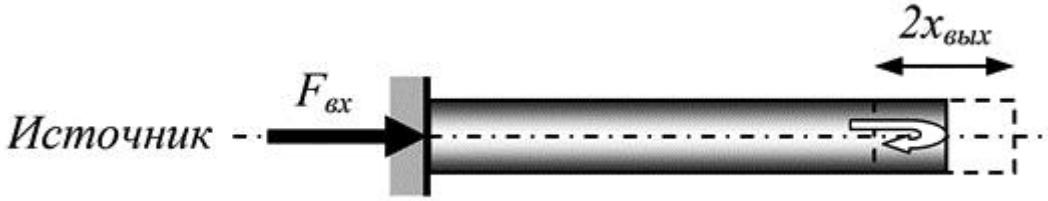


Рис.1- Схема динамического нагружения консоли

В качестве первого шага в предыдущей статье была рассмотрена основная продольная мода резонансных колебаний стержня вдоль его длины L на эквивалентной схеме в виде пружинного маятника с эквивалентной акустической жесткостью $k_д$, и массой $m_д$, которая хотя и имеет ограниченное подобие, но, вместе с тем, позволяет корректно описать механизм возбуждения продольного резонанса стержня на основной гармонике.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) в окрестности основной продольной моды резонансных колебаний стержня может быть представлена в виде комплексной функции:

$$K(\bar{f}) = \frac{K_o(1-\bar{f}^2)}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1} - j\frac{2K_o\xi\bar{f}}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}, \qquad (1)$$

где K_o – статический коэффициент передачи или преобразования при ω_o=0, равный квадрату радианного периода T_o резонанса, нормированному по динамической массе

$$K_o = \frac{T_o^2}{m_д}, \tag{2}$$

$\overline{f} = \frac{f}{f_o}$ - относительная циклическая частота, нормированная по значению основной резонансной, которая зависит от значения динамического модуля Юнга $E_д$ и плотности материала стержня ρ и может быть вычислена по формуле:

$$f_o = \frac{1}{4L}\sqrt{\frac{E_д}{\rho}}, \tag{3}$$

ξ-постоянная затухания, равная нормированному по массе и резонансной частоте коэффициенту затухания β и вычисляемая по формуле:

$$\xi = \frac{\beta T_o}{m_д}. \tag{4}$$

Для акустического процесса период резонансного цикла $T_{оц}$ на основной гармонике для консольной балки, принимается равным четырем временам пробега упругой волны от заделки до свободного конца стержня, так как пучность резонансных колебаний стержня может быть реализована только на свободном конце, на торце которого должно выполняться равенство нулю как статических, так и динамических механических напряжений:

$$T_{оц} = 4\tau_{пр}. \tag{5}$$

Однако в отличие от пружинного маятника с точечной массой стержень имеет распределенную массу по своей длине, например, распределенную равномерно. В этом случае он для продольной моды колебаний (как и для других, поперечных мод) будет иметь практически «бесконечное» число резонансов – или высших гармоник основного, число которых ограничивается только размерами внутренней структуры материала стержня и дисперсией затухания.

Если считать основной резонанс первым или первой гармоникой данного вида (вдоль длины стержня) продольных резонансов, то тогда условие формирования при резонансе пучности колебаний на свободном конце стержня может быть реализовано только при возбуждении нечетных высших резонансных гармоник основного резонанса. В таком случае, в общем виде без учета дисперсии скорости продольной волны в стержне это условие может быть сформулировано в виде следующей формулы для расчета частоты или периода высших резонансных гармоник:

$$f_n = (2n-1)\, f_o = \frac{(2n-1)}{4L}\sqrt{\frac{E_д}{\rho}}, \tag{6}$$

$$T_{пц} = \frac{T_{оц}}{(2n-1)} = \frac{4L}{(2n-1)}\sqrt{\frac{\rho}{E_д}}. \tag{7}$$

По аналогии с методикой математического моделирования АЧХ для основного резонанса можно промоделировать АЧХ для каждой из высших гармоник и представить их в общем виде, например, для n-ой гармоник в виде комплексной функции:

$$K_n(\bar{f}_n) = \frac{K_{on}(1-\bar{f}_n^2)}{\bar{f}_n^4 + (4\xi_n^2 - 2)\bar{f}_n^2 + 1} - j\frac{2K_{on}\xi_n \bar{f}_n}{\bar{f}_n^4 + (4\xi_n^2 - 2)\bar{f}_n^2 + 1}, \quad (8)$$

а модуль АЧХ в виде выражения:

$$\left|K_n(\bar{f}_n)\right| = \left|\frac{K_{on}}{\sqrt{\bar{f}_n^4 + (4\xi_n^2 - 2)\bar{f}_n^2 + 1}}\right|. \quad (9)$$

Рассмотрим, каким образом происходит наложение резонансов в объеме одного стержня с точки зрения преобразования входного динамического усилия, действующего на стержень в его консольной заделке, на амплитуду выходного параметра, которым является суммарная деформация стержня или перемещение его свободного конца. Для решения задачи представим этот процесс с помощью электромеханических аналогий в виде схемы с источником напряжения *F*, нагруженного параллельно включенными импедансами колебательных звеньев, соответствующих АЧХ основного резонанса и его высших нечетных гармоник как показано на рис.2б.

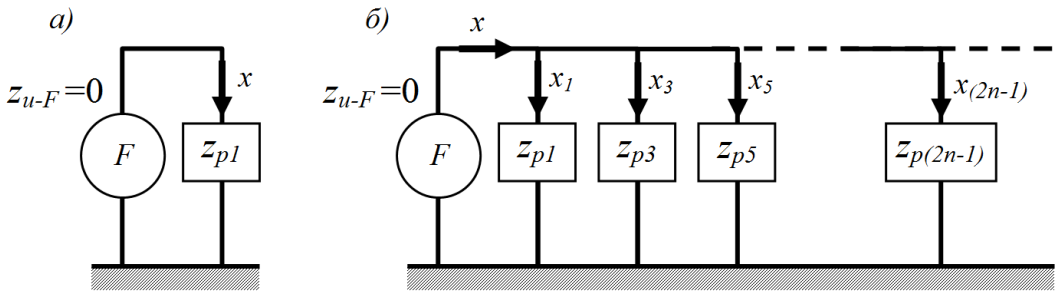


Рис.2. Эквивалентные электрические схемы для консольно закрепленного стержня на рис.1 с силовым источником напряжения для основного резонанса (а) и с учетом резонансов на высших гармониках (б)

Рассматривая выражение для АЧХ в виде комплексной функции в качестве импеданса стержня в окрестности основного резонанса получим, что перемещение свободного конца стержня эквивалентно электрическому току в схеме на рис.2а).

Тогда для АЧХ с учетом высших гармоник, эквивалентная схема может быть представлена в виде параллельно соединенных с источником силы (электрического напряжения) импедансов основного и высших нечетных гармоник продольного резонанса (см.рис.2б), а суммарный ток *x* (деформация стержня) в такой схеме будет равен сумме токов, протекающих в каждой резонансной ветви параллельно соединенных импедансов

$$x = x_1 + x_3 + x_5 + \ldots + x_{2n-1} + \ldots, \quad (10)$$

Согласно закону Ома сила тока *x* пропорциональна напряжению *F* и обратно пропорциональна импедансу параллельно соединенных элементов схемы на рис.2б.):

$$x = \frac{F}{z_{p\|}}, \quad (11)$$

где импеданс $z_{p\|}$ для параллельно соединенных элементов:

$$z_{p\|} = \frac{z_{p1}z_{p3}z_{p5}\ldots z_{p(2n-1)}\ldots}{z_{p3}z_{p5}\ldots z_{p(2n-1)}..+z_{p1}z_{p5}\ldots z_{p(2n-1)}..+\ldots+z_{p1}z_{p3}z_{p5}\ldots z_{p(2n+1)}\ldots+\ldots}. \quad (12)$$

В целях конкретизации задачи рассмотрим формулу для импеданса схемы на рис.2б) в окрестности первых трех нечетных гармоник резонанса продольной моды колебаний стержня. С учетом выражений (8), (9) и (12) импеданс для трех гармоник будет определяться выражением:

$$z_{p\|} = \frac{z_{p1}z_{p3}z_{p5}}{z_{p3}z_{p5}+z_{p1}z_{p5}+z_{p1}z_{p3}}. \quad (13)$$

Используя в (11) формулу для импеданса (12), получим выражение для вывода формулы для АЧХ стержня с тремя резонансами:

$$x = K(\bar{f})F(\bar{f}) = \frac{F(\bar{f})}{z_{p\|}} = \left[\frac{z_{p3}z_{p5}+z_{p1}z_{p5}+z_{p1}z_{p3}}{z_{p1}z_{p3}z_{p5}}\right]F(\bar{f}), \quad (14)$$

откуда

$$K(\bar{f}) = \frac{z_{p3}z_{p5}+z_{p1}z_{p5}+z_{p1}z_{p3}}{z_{p1}z_{p3}z_{p5}}. \quad (15)$$

Представляя импеданс резонанса в виде комплексной функции для каждого, например, n-го резонанса

$$z_{pn} = K_n(\bar{f}_n) = P_n(\bar{f}_n) - jR_n(\bar{f}_n), \quad (16)$$

где

$$P_n(\bar{f}_n) = \frac{K_{on}(1-\bar{f}_n^{\,2})}{\bar{f}_n^{\,4}+(4\xi_n^{\,2}-2)\bar{f}_n^{\,2}+1}; \quad (17)$$

$$R_n(\bar{f}_n) = \frac{2\xi_n\bar{f}_n}{\bar{f}_n^{\,4}+(4\xi_n^{\,2}-2)\bar{f}_n^{\,2}+1}. \quad (18)$$

Подставляя (16) в (15) получим выражение для АЧХ в виде комплексной функции

$$K(\bar{f}) = \frac{P-jR}{Q-jS}, \quad (19)$$

где

$$P = P_3P_5 - R_3R_5 + P_1P_5 - R_1R_5 + P_1P_3 - R_1R_3, \quad (20)$$

$$R = P_3R_5 + R_3P_5 + P_1R_5 + R_1P_5 + P_1R_3 + R_1P, \quad (21)$$

$$Q = P_1P_3P_5 - R_1R_3P_5 - P_1R_3R_5 - R_1P_3R_5, \quad (22)$$

$$S = R_1R_3R_5 - P_1R_3P_5 - R_1P_3P_5 - P_1P_3R_5, \quad (23)$$

или, освобождаясь от мнимого числа в знаменателе, получим выражение для АЧХ в каноническом виде комплексной функции:

$$K(\bar{f}) = \frac{(PQ+RS)}{Q^2+S^2} + j\frac{(PS-RQ)}{Q^2+S^2}. \qquad (24)$$

Тогда АЧХ, согласно выражению (24), учитывающему три первые гармоники продольного резонанса вдоль длины стержня и, например, при равных коэффициентах затухания $\xi_1 = \xi_3 = \xi_5$, в системе координат основного резонанса или первой гармоники (то есть по частоте $\bar{f}$, нормированной по $f_1 = f_o$) будет иметь вид, представленный графиком на рис.3.

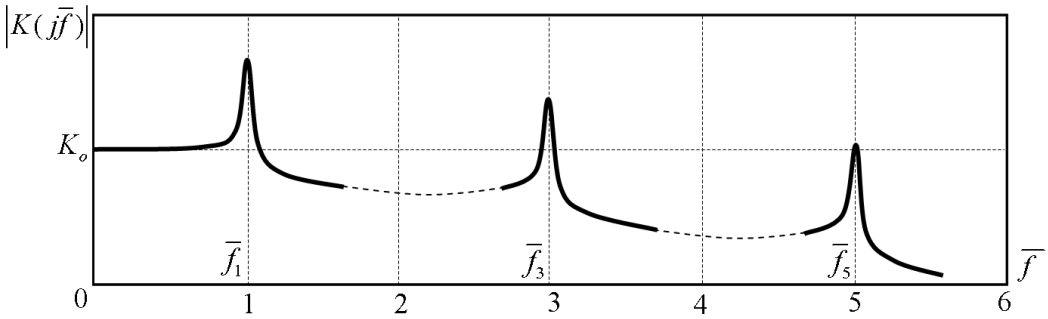


Рис.3. График зависимости от нормированной частоты модуля АЧХ консоли в окрестности трех продольных резонансов продольной акустической волны

Рассмотренное расчетное моделирование АЧХ консольного стержня методом электромеханических аналогий, имеет ограниченное подобие, так как значение на всех гармониках коэффициентов затухания продольной волны β_n, динамических жесткостей $k_{\partial n}$ и динамических масс $m_{\partial n}$ существенно зависят от изотропности и однородности материала и качества поверхности, а также от вариаций этих параметров, формы и размеров сечения вдоль всей длины стержня и на его торцах.

Рассмотренное расчетное моделирование АЧХ консольного стержня методом электромеханических аналогий, имеет ограниченное подобие, так как значение на всех гармониках коэффициентов затухания продольной волны β_n, динамических жесткостей $k_{\partial n}$ и динамических масс $m_{\partial n}$ существенно зависят от изотропности и однородности материала и качества поверхности, а также от вариаций этих параметров, формы и размеров сечения вдоль всей длины стержня и на его торцах.

В рассмотренных АЧХ и ФЧХ не учитывались антирезонансы стержня, которые существенно повлияют на график ФЧХ и кривые в области минимальных значений модуля АЧХ и будут более подробно рассмотрены в специальной статье авторов. С высокой точностью количественные значения резонансных частот и коэффициентов затухания могут быть установлены только экспериментальным путем, но при этом вид представленной выше модели, согласно выражениям с (15) по (24), не изменится и останется базой для уточнений всего лишь отдельных параметров этих выражений, а, следовательно, сохранит свое фундаментальное значение при практическом расчетном моделировании динамических нагрузок в стержневых конструкциях.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558с.
3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
4. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», - М.: ВНИИНТПИ, №3, 2003, 16 с.
5. Ультразвук. Под ред. *И.П. Галямина.* –М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.

05.23.17

М.С. Хлыстунов к.т.н., Ж.Г. Могилюк к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

ВОЗБУЖДЕНИЕ ОСНОВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В КОНСОЛЬНОМ СТЕРЖНЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

В статье методом подобия на модели пружинного маятника исследуется механизм и закономерности возбуждения основного продольного акустического резонанса консольного стержня, рассматриваются ограниченное подобие модели и даются рекомендации для натурных динамических исследований и верификации динамических характеристик стержня.

Ключевые слова: *стержневые конструкции, динамические нагрузки, продольный резонанс, пружинный маятник, эквивалентные схемы, ограниченное подобие, основной резонанс, амплитудно-частотная характеристика.*

Развитие теории и методов математического моделирования строительных конструкций на современном этапе вплотную подошло к проблеме алгоритмизации динамических моделей, учитывающих волновой характер распространения динамических перемещений и напряжений.

Настоящая статья относится к серии публикаций авторов по данной тематике инициативных исследований, направленных на формирование полноценного пакета новых знаний и алгоритмов по фундаментальным вопросам метрологической корректности алгоритмизации математических моделей и динамических процессов в строительных конструкциях.

Учитывая фундаментальный характер поставленной задачи, проведем математическое моделирование резонансных явлений для элементарных одномерных стержневых конструкций, например, в виде консольно закрепленного стержня с однородным сечением и физико-механическими свойствами вдоль его главной оси (длины).

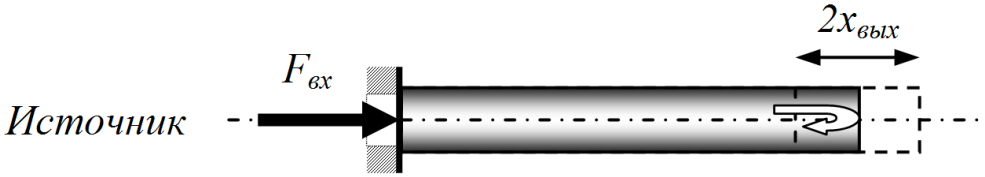


Рис.1- Схема динамического нагружения и закачки продольной акустической волны в консольно закрепленный стержень со стороны заделки

Схема динамического нагружения и закачки продольной акустической волны в консольно закрепленный стержень на рис.1 имеет бесконечное число степеней свободы, так как равномерно распределенные масса и жесткость стержня позволяют возбудить в нем неограниченное число резонансов и антирезонансов различных мод колебаний и их гармоник. Простейшим способом возбуждения волновых процессов в стержне является ударное или вибрационное воздействие, например, на узел его консольной заделки.

В качестве первого шага рассмотрим основную продольную моду колебаний стержня вдоль его длины L на эквивалентной схеме в виде пружинного маятника на рис.2 с эквивалентной акустической жесткостью k_{∂}, и массой m_{∂}, которая хотя и имеет ограниченное подобие, но, вместе с тем, позволяет корректно описать механизм возбуждения продольного

резонанса стержня на основной гармонике.

Для пружинного маятника на рис.2 уравнение динамического нагружения можно записать в следующем виде:

$$m_д a + F_{тр} + k_д x = F_{вх} \qquad (1)$$

или через производные результирующего (выходного) перемещения в виде дифференциального уравнения:

$$m_д \ddot{x} + 2\beta \dot{x} + k_д x = F_o Cos\omega t\ . \qquad (2)$$

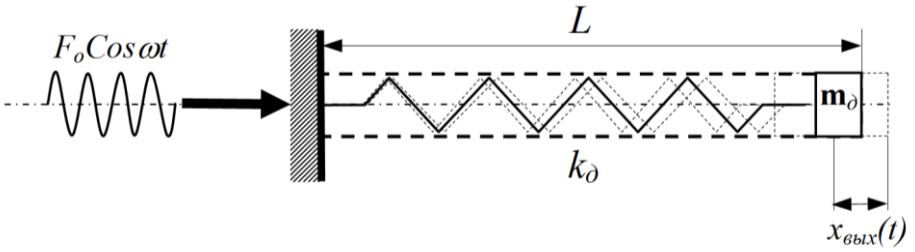


Рис.2. Эквивалентная схема продольного динамического нагружения консольно закрепленного стержня на рис.1

Используя метод операционного исчисления, заменим производные на оператор $p=j\omega$, а функции от времени входного силового динамического воздействия $F_{вх}(t)$ и результирующего динамического перемещения $x(t)$ на их Фурье-отображения в комплексной частотной плоскости, получим уравнение второй степени относительно p:

$$m_д p^2 x(j\omega) + 2\beta p x(j\omega) + k_д x(j\omega) = F_o(j\omega)\ . \qquad (3)$$

Вынося за скобки функцию выходного (результирующего) перемещения $x(j\omega)$,

$$(m_д p^2 + 2\beta p + k_д) x(j\omega) = F_o(j\omega) \qquad (4)$$

и приводя уравнение к каноническому виду:

$$(p^2 + 2\frac{\beta}{m_д} p + \frac{k_д}{m_д}) x(j\omega) = \frac{1}{m_д} F_o(j\omega), \qquad (5)$$

получаем выражение для амплитудно-фазо-частотной характеристики (далее АФЧХ) стержня, на входе которого действует динамическое силовое воздействие, а на выходе вызванное этим воздействием перемещение:

$$K(j\omega) = \frac{x(j\omega)}{F_o(j\omega)} = \frac{K_o}{(T_o^2 p^2 + 2\xi T_o p + 1)}, \qquad (6)$$

где K_o – статический коэффициент передачи или преобразования при $\omega_o=0$, равный

$$K_o = \frac{T_o^2}{m_д}, \qquad (7)$$

а свободный член в знаменателе

$$\frac{k_д}{m_д} = \omega_o^2 = 4\pi^2 f_o^2 = \frac{1}{T_o^2}, \quad (8)$$

где ω_o, f_o – частота основного резонанса, соответственно в радианах и в циклах в секунду.

Нормированный по радианной шкале резонансный период связан с применяемыми в технических измерениях циклическим периодом и циклической частотой следующими соотношениями:

$$T_o = \frac{T_{оц}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi f_o^2}, \quad (9)$$

где $T_{оц}$ – период резонансного цикла, причем для акустического процесса, в общем случае, на основной гармонике для консольной балки период цикла равен четырем временам пробега упругой волны от заделки до свободного конца стержня, так как пучность резонансных колебаний стержня может быть реализована только на свободном конце, на торце которого должно выполняться равенство нулю как статических, так и динамических механических напряжений:

$$T_{оц} = 4\tau_{пр}. \quad (10)$$

Время пробега пропорционально длине стержня и обратно пропорционально скорости упругой волны:

$$\tau_{пр} = \frac{L}{c_{ув}}, \quad (11)$$

а скорость $c_{ув}$ определяется выражением:

$$c_{ув} = \sqrt{\frac{E_д}{\rho}}, \quad (12)$$

где $E_д, \rho$ - соответственно, динамический модуль Юнга материала стержня, равный статическому модулю на низких частотах, но, в общем случае, зависящий от частоты упругой волны, то есть обладающий дисперсией.

Учитывая зависимости (10), (11) и (12), для периода резонансного цикла и резонансной циклической частоты получим

$$T_{оц} = 4L\sqrt{\frac{\rho}{E_д}}, \quad f_{оц} = \frac{1}{4L}\sqrt{\frac{E_д}{\rho}}. \quad (13)$$

Нормированный коэффициент затухания в уравнении (6) определяется выражением:

$$\xi = \frac{\beta T_o}{m_д} = \beta\sqrt{\frac{1}{m_д k_д}}. \quad (14)$$

Заменяя в выражении (6) p на $j\omega$, а «радианный» период и частоту на широко применяемые в технике циклические, получим выражение для АФЧХ:

$$K(j\omega)=\frac{K_o}{(-\frac{T_{оц}^2}{4\pi^2}\omega^2+2\xi\frac{T_{оц}}{2\pi}j\omega+1)}=\frac{K_o}{(-T_{оц}^2 f^2+2j\xi T_{оц} f+1)} \quad (15)$$

или

$$K(j\bar{f})=\frac{K_o}{(-\frac{f^2}{f_o^2}+2j\xi\frac{f}{f_o}+1)}=\frac{K_o}{(-\bar{f}^2+2j\xi\bar{f}+1)}, \quad (16)$$

где $\bar{f}=\frac{f}{f_o}$ - относительная частота, нормированная по значению резонансной.

Выражая АФЧХ в виде комплексной функции, то есть через активную и реактивную составляющие получим

$$K(\bar{f})=\frac{K_o}{(1-\bar{f}^2)+2j\xi\bar{f}}=\frac{K_o\left[(1-\bar{f}^2)-2j\xi\bar{f}\right]}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}=$$
$$=\frac{K_o(1-\bar{f}^2)}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}-j\frac{2K_o\xi\bar{f}}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}, \quad (17)$$

Выделение активной и реактивной составляющих в выражении (17) позволяет записать его в каноническом виде:

$$K(\bar{f})=P(\bar{f})-jR(\bar{f}), \quad (18)$$

где вещественная и мнимая часть, соответственно, определяются выражениями:

$$P(\bar{f})=\frac{K_o(1-\bar{f}^2)}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}; \quad (19)$$

$$R(\bar{f})=\frac{2\xi\bar{f}}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}. \quad (20)$$

Модуль АФЧХ или АЧХ может быть вычислен как корень из суммы квадратов вещественного и мнимого компонентов комплексной функции АФЧХ (18):

$$\left|K(\bar{f})\right|=\sqrt{P(\bar{f})^2+R(\bar{f})^2}. \quad (21)$$

Подставляя в (21) значения вещественной и мнимой составляющих (19) и (20) получим формулу для вычисления АЧХ:

$$\left|K(\bar{f})\right|=\sqrt{\left[\frac{K_o(1-\bar{f}^2)}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}\right]^2+\left[\frac{2K_o\xi\bar{f}}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}\right]^2} \quad (22)$$

или

$$\left|K(\bar{f})\right| = \frac{K_o}{\bar{f}^4 + (4\xi^2 - 2)\bar{f}^2 + 1}\sqrt{(1-\bar{f}^2)^2 + (2\xi\bar{f})^2} =$$
$$= \frac{K_o}{\bar{f}^4 + (4\xi^2 - 2)\bar{f}^2 + 1}\sqrt{1 + (4\xi^2 - 2)\bar{f}^2 + \bar{f}^4} = \quad . \qquad (23)$$
$$= \frac{K_o}{\sqrt{1 + (4\xi^2 - 2)\bar{f}^2 + \bar{f}^4}}$$

График зависимости модуля АЧХ от нормированной частоты, при выполнении условия $\sqrt{0,5} > \xi > 0$, приведен на рис. 3.

При отсутствии затухания, то есть когда $\xi = 0$, получим неограниченный пик АЧХ на частоте резонанса $\bar{f} = 1$ (см. рис.3) и следующее выражение для АЧХ:

$$\left|K(\bar{f})\right| = \left|\frac{K_o}{\bar{f}^4 - 2\bar{f}^2 + 1}\sqrt{(1-\bar{f}^2)^2}\right|_{\xi=0} = \left|\frac{K_o(1-\bar{f}^2)}{(\bar{f}^2-1)^2}\right|_{\xi=0} =$$
$$= \left|-\frac{K_o(\bar{f}^2-1)}{(\bar{f}^2-1)^2}\right|_{\xi=0} = \left|-\frac{K_o}{(\bar{f}^2-1)}\right|_{\xi=0} . \qquad (24)$$

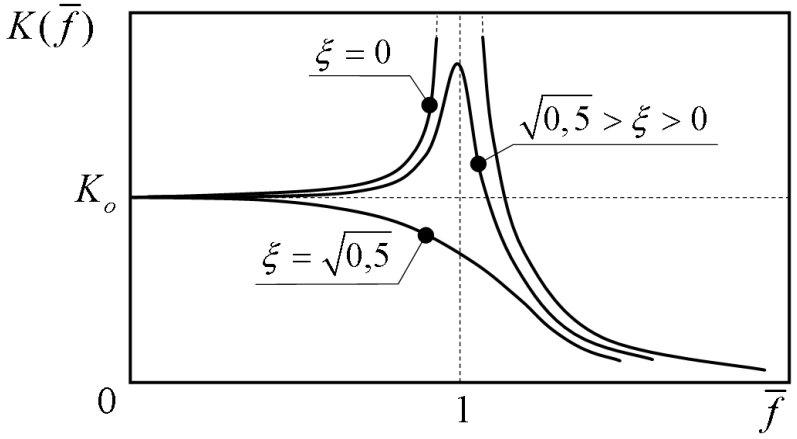


Рис.3. График зависимости от нормированной частоты модуля АЧХ (19) консольно закрепленного стержня для продольной акустической волны в окрестности основного резонанса

При критическом затухании, то есть когда $\xi^2 = 0,5$ или $\xi \approx 0,707$ получим вырождение резонанса (см. рис.3) и тогда выражение для АЧХ примет вид:

$$\left|K(\bar{f})\right| = \left|\frac{K_o}{\bar{f}^4 + 1}\sqrt{1 + \bar{f}^4}\right|_{\xi^2=0,5} = \left|\frac{K_o}{\sqrt{1 + \bar{f}^4}}\right|_{\xi^2=0,5} . \qquad (25)$$

Несмотря на корректность выполненного расчетного моделирования, следует учитывать ограниченное подобие, собственно, самой расчетной модели акустического процесса в виде пружинного маятника, включая следующие ограничения:

1) модель акустического процесса в виде пружинного маятника дает качественное описание только одного из продольных резонансов стержня, в данном случае, основного;

2) значение коэффициента затухания продольной волны β, динамической жесткости k_∂ и массы m_∂ существенно зависят от изотропности и однородности материала и качества поверхности, а также от стабильности этих параметров, формы и размеров сечения вдоль всей длины стержня и на его торцах;

3) необходимо иметь в виду, что при моделировании по умолчанию полагалось, что консольная заделка стержня обладает абсолютной жесткостью, отражение волны от свободного конца стержня идеально, источник продольной волны имеет или бесконечный или нулевой акустический импеданс и также является идеальным отражателем волны со стороны консольной заделки.

На основании вышеизложенного могут быть даны следующие практические рекомендации.

С приемлемой точностью количественные значения резонансной частоты и коэффициента затухания, а, следовательно, и расчетная модель стержня могут быть установлены только экспериментальным путем, например, в результате лабораторных или натурных динамических испытаний натурного образца стержня.

Вместе с тем, использование в рассмотренной выше модели полученных экспериментальным способом параметров резонанса позволяет получить высокоточную расчетную модель в окрестности этого резонанса, а комплексирование аналогичным образом расчетных резонансных моделей для высших гармоник, антирезонансов и других мод колебаний стержня (например, изгибных, крутильных или торсионных) позволит построить расчетную математическую модель АЧХ стержня для широкого спектра частот, достаточного для расчета реакции стержня на реальное широкополосное динамическое воздействие.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558с.
3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
4. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», - М.: ВНИИНТПИ, №3, 2003, с.16
5. Ультразвук. Под ред. *И.П.Галямина.* –М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.

05.17.07

[1]А.Б. Шеин д.х.н., [2]А.В. Денисова к.х.н., [2]О.В. Козловская, [2]С.А. Шардин, [3]В.Г. Рябов д.т.н.

[1]Пермский государственный национальный исследовательский университет,
химический факультет,
Пермь, anatoly173@yandex.ru

[2]ООО «ФЛЭК»,
Пермь, flek@flek.pnsh.ru

[3]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет,
Пермь, rvg@pstu.ru

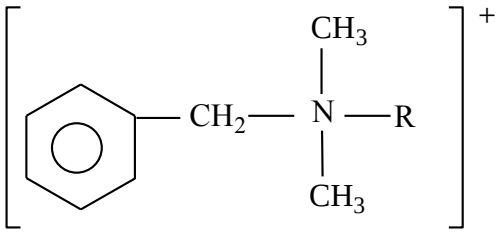
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРОВОДОРОДА НА ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ АЛКИЛДИМЕТИЛБЕНЗИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА

Исследовано влияние содержания сероводорода в модельных средах на защитный эффект алкилдиметилбензиламмоний хлорида гравиметрическим и электрохимическим методами. Определена оптимальная дозировка ингибитора коррозии.

Ключевые слова: *ингибитор коррозии, катионные ПАВ, скорость коррозии, защитный эффект.*

По совокупности литературных данных наиболее эффективным ингибиторами коррозии (ИК) в сероводородсодержащих средах являются азотосодержащие соединения, в частности, катионные поверхностно-активные вещества (ПАВ) [1], например, катионное ПАВ - алкилдиметилбензиламмоний хлорид (АДБАХ) с длиной углеводородного радикала $C_{12} – C_{14}$.

В соответствии с отрицательной заряженностью гидроксида и сульфида железа (II) в нейтральной и кислой области pH [2] органический радикал АДБАХ, представленный группой



обладает способностью к ориентируемой хемосорбции на стальной поверхности с ее прочным экранированием (гидрофобизацией) от воздействия агрессивных ионов водной среды [3].

При защите нефтепромыслового оборудования от коррозии (подача АДБАХ с помощью насосов-дозаторов) применение данных ИК производится в виде растворов различной концентрации (товарной форме).

Основной акцент при создании товарной формы АДБАХ был сделан на определение оптимального ингибирующего состава (активная основа – растворитель), удовлетворяющего основным производственным требованиям: защитный эффект более 80% при минимальном расходе, низкой стоимости и температуре застывания до минус 55^0С. В данной статье представлены результаты защитного действия АДБАХ, содержащего 20% активной основы.

По способности к снижению межфазного равновесия, водные растворы электролитов имеют устойчивую тенденцию к расположению в ряд $NaCl<CaCl_2<MgCl_2$ [4]. При

исследованиях были использованы модельные коррозионные среды, представляющие собой 3% водный раствор NaCl, содержащий ~ 60, 100 или 150 мг/дм^3 H_2S.

Исследование данных концентраций сероводорода в модельной среде обусловлено их средними значениями, установленными в водах региона Пермского края, республик Татарстан, Башкортостан и Казахстан.

Рядом исследований скорости коррозии стали в водных средах установлено повышение защитного действия азотосодержащих ИК при наличии H_2S, а, зачастую, и с ростом его концентрации [4]. В водной минерализованной среде, не содержащей H_2S, катионный ингибитор Катамин АБ (АДБАХ) даже в концентрации до 200 мг/дм^3 незначительно снижает скорость коррозии с ~2.1 до ~1.25 г/(м^2·ч) при 20°С на протяжении 6 ч [5]. Его защитный эффект начинает проявляться только в области концентраций $H_2S \geq 25$ мг/дм^3. На основании этого при выполнении лабораторных исследований была принята начальная дозировка ИК - 25 г/дм^3.

Защитный эффект (Z) ИК оценивали традиционными методами: гравиметрическим и электрохимическим.

Абсолютную скорость коррозии металла ($V_к$) определяли по потере массы стального образца гравиметрическим методом на установке типа «колесо» по методике «Методика проведения коррозионных испытаний в закрытых системах» (ПермНИПИнефть, 1981 г.) с последующей оценкой защитной способности ИК по ГОСТ 9.506-88.

Для оценки влияния ИК на кинетику катодного выделения водорода и анодного растворения стали использовали электрохимический метод. Результаты обрабатывались в соответствии с теоретическими представлениями о механизме действия ИК [6, 7].

Полученные экспериментальные данные изображены на рис. 1 – 3.

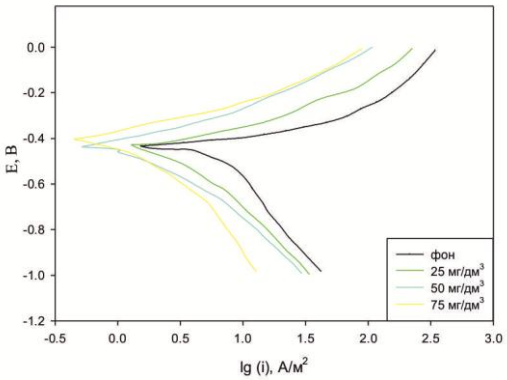


Рис. 1 – Поляризационные кривые Ст. 3 в коррозионной среде: 3% NaCl, [H_2S] = 60 мг/дм^3. Дозировка АДБАХ – 25, 50 , 75 мг/дм^3 (t = 20^{0}С)

Введение ИК АДБАХ в коррозионные среды (рис. 1 – 3) значительно изменяет параметры как катодного, так и анодного процесса с резким снижением значений скоростей коррозии вследствие торможения катодного выделения водорода и анодного растворения стали. Это свидетельствует о смешанном типе действия данного ингибитора коррозии.

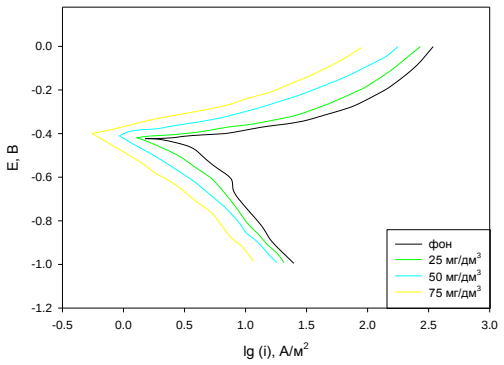


Рис. 2 – Поляризационные кривые Ст. 3 в коррозионной среде: 3% NaCI, $[H_2S]$ = 100 мг/дм^3. Дозировка АДБАХ – 25, 50 , 75 мг/дм^3 (t = 20^{0}C)

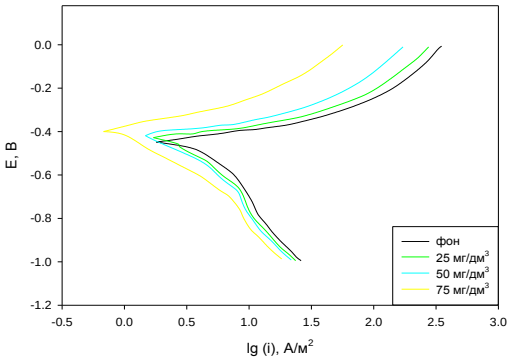


Рис. 3 – Поляризационные кривые Ст. 3 в коррозионной среде: 3% NaCI, $[H_2S]$ = 150 мг/дм^3. Дозировка АДБАХ – 25, 50 , 75 мг/дм^3 (t = 20^{0}C)

Значения защитного действия ИК АДБАХ при изменении концентрации сероводорода, полученные как при гравиметрическом, так и электрохимическом методах представлены в таблице.

С увеличением концентрации сероводорода от 60 до 150 мг/дм^3 в коррозионной среде 3% раствора NaCl, защитное действие ИК АДБАХ возрастает, что совпадает с теоретическими представлениями.

Эффективность защитного действия ИК АДБАХ увеличивается пропорционально росту его концентрации с 25 до 75 мг/дм^3.

Таблица – Влияние концентрации сероводорода на защитное действие ИК АДБАХ по отношению к Ст.3 в 3%-ном водном растворе NaCl + H_2S

$[H_2S]$, мг/дм^3	Z,%		
	Концентрация ингибитора, мг/дм^3		
	25	50	75
Гравиметрический метод			
60	42.8	71.7	81.9
100	54.7	80.9	86.5
150	68.6	89.5	90.8
Электрохимический метод			
60	52.0	76.9	85.3
100	61.5	86.9	91.1
150	72.5	91.7	93.8

Некоторое несовпадение данных оценки скорости коррозии стали и защитного действия ингибитора, полученных гравиметрическим и электрохимическим методами, объясняется тем, что при весовых измерениях определяется средняя скорость коррозии за 5 ч, а при электрохимических измерениях фиксируется мгновенная скорость коррозии в данный момент времени.

По результатам исследования товарной формы ИК АДБАХ в модельных коррозионных средах, представляющих собой 3% NaCl, содержащих ~ 60, 100, 150 мг/дм^3 H_2S установлено следующее:

1. Защитный эффект ИК по отношению к низкоуглеродистой стали Ст. 3, определенный гравиметрическим и электрохимическим методами испытаний повышается при увеличении концентрации H_2S в среде;

2. Оптимальная дозировка ИК при концентрации сероводорода в агрессивных средах 100 и 150 мг/дм^3 составила 50 мг/дм^3, при этом установлен защитный эффект более 80%, что соответствует ГОСТ 9.506-88;

3. При дозировке ИК - 25 мг/дм^3 во всех исследуемых сероводородных средах не был получен защитный эффект более 80%.

Таким образом, в ходе работы выявлены оптимальные концентрации товарной формы ИК АДБАХ при различных условиях, что позволяет установить область его применения в агрессивных средах, содержащих определенное количество сероводорода. Результаты лабораторных испытаний ИК АДБАХ могут быть использованы на любых предприятиях нефтедобывающей промышленности.

Список литературы

1. *Куделин Ю.И., Куликов Н.В., Легезин Н.Е.* Влияние концентрации сероводорода на коррозию и водородопроницаемость углеродистой стали // РНТС. Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. –М.: ВНИИОЭНГ, 1977. -№1. –С. 10 – 13.

2. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей. Пер. с англ. / Под. Ред. З.М. Зорина и В.М. Муллера. - М.: Мир, 1979. - 568 с.

3. *Кузнецов Ю.И.* Физико-химические аспекты защиты металлов от коррозии нано- и микроразмерными покрытиями // Коррозия: материалы, защита. - 2006. -Т.42.- N 1.- С. 3 - 12.

4. *Кузнецов В.А., Иофа З.А.* О механизме действия ингибиторов при растворении железа в кислотах // ЖФХ. – 1947. – Т.21.-№2. –С.201 – 214.

5. *Клыков В.Ю.* Методы борьбы с коррозией ГНО в НГДУ «Воткинск» ОАО «Удмуртнефть» // Инженерная практика. –2010. -№6. –С.87 – 93.

6. *Лошкарев Ю.М.* О принципах выбора органических ингибиторов электроосаждения металлов. Львов: Изд-во АН УССР. 1979. – 81 с.

7. Техника экспериментальных работ по электрохимии, коррозии и поверхностной обработке металлов // Под ред. *А.Т. Куна*. СПб.: Химия. 1994. С. 314.

05.17.07

[1]А.С. Ширкунов к.т.н., [1]А.В. Кудинов, [1]В.Г. Рябов д.т.н., [2]П.В. Бакулев

[1]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра Химической технологии топлива и углеродных материалов,
Пермь, ashirkunov@rambler.ru

[2]ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»,
Пермь, pbakulev@mail.ru

СРАВНЕНИЕ ЖИДКОСТНОЙ АДСОРБЦИОННОЙ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ

Выполнено разделение масляных дистиллятов методом жидкостной адсорбционной хроматографии (ЖАХ) на силикагеле на отдельные углеводородные фракции. Проведен групповой анализ данных фракций высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ). Показана ограниченная применимость метода ЖАХ для определения состава в связи с недостаточной разделяющей способностью и существенным перекрыванием различных групп углеводородов.

Ключевые слова: *нефтяные масла, масляный дистиллят, групповой химический состав, жидкостно-адсорбционная хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ).*

Ежегодный прирост автомобильного парка как за рубежом, так и в нашей стране, приводит к соответствующему увеличению спроса на качественные автомобильные эксплуатационные материалы.

Среди данных материалов одними из наиболее важных остаются смазочные масла (как моторные и трансмиссионные, так и специального назначения).

В случае нефтяных (минеральных) смазочных масел, многие важные эксплуатационные свойства связаны не только с фракционным, но и с химическим составом масляных компонентов, использованных для получения товарного продукта. Например, интервал рабочих температур масла напрямую связан с его вязкостно-температурными свойствами, которые характеризуются индексом вязкости и определяются, в первую очередь, содержанием различных групп углеводородов.

И если фракционный состав компонентов масел практически полностью определяется температурным режимом работы вакуумных ректификационных колонн установок АВТ, то на их химический состав воздействуют многие факторы, начиная от природы исходной нефти, и заканчивая технологическим режимом работы установок АВТ, селективной очистки, депарафинизации и деасфальтизации.

Задача контроля и регулирования группового состава масляных компонентов не может быть решена без экспрессного метода его определения. В то же время общепринятой методикой анализа группового состава подобных нефтепродуктов является жидкостная адсорбционная хроматография (ЖАХ) на силикагеле, отличающаяся весьма большой длительностью и трудоемкостью.

Именно поэтому данная работа касалась изучения возможности использования высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для определения группового химического состава масляных дистиллятов и компонентов, получаемых в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» и ее сравнения с общепринятым методом разделения ЖАХ.

В ходе работы были проанализированы средневязкие и вязкие вакуумные дистилляты, используемые для дальнейшего получения нефтяных масел. Данные фракции были

использованы по причине наиболее широкого спектра входящих в их состав соединений (по сравнению с рафинатами селективной очистки и готовыми компонентами масел).

Первоначально нефтепродукты были разделены методом ЖАХ на силикагеле в соответствии с нижеизложенной методикой.

В качестве адсорбента использовали силикагель марки АСКГ с величиной зерен 0.25 – 0.5 мм. В стеклянную колонку диаметром 15 мм и высотой 2000 мм небольшими порциями с непрерывным уплотнением загружали адсорбент. После того как все намеченное количество силикагеля загружалось в колонку, и при постукивании в течение 20 мин высота столба адсорбента не изменялась, ее закрепляли в штативе и смачивали столб силикагеля петролейным эфиром (фракция 70-100°С) для снятия теплоты адсорбции.

Разделяемый нефтепродукт подавали в хроматографическую колонку из расчета 0.3 г продукта на каждый грамм силикагеля в виде раствора в петролейном эфире. В качестве растворителя и десорбента парафино-нафтеновых углеводородов применяли петролейный эфир, арены десорбировали толуолом, смолы выделяли при помощи ацетона. Отобранные фракции освобождали от основной массы растворителя в токе углекислоты при температуре 120°С, после чего доводили их до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105°С.

Разделение выделенных углеводородов на группы в соответствии с методикой осуществляли по показателю преломления (n_D^{20}). К парафино-нафтеновым углеводородам относили фракцию с показателем преломления менее 1.49; к I группе ароматических углеводородов (моноциклические арены) – от 1.49 до 1.53; ко II группе ароматических углеводородов (бициклические арены) – от 1.53 до 1.55; к III группе ароматических углеводородов (трициклические арены) – от 1.55 до 1.59; к IV группе ароматических углеводородов (полициклические арены) – свыше 1.59; к смолам относили фракции десорбированные ацетоном, у которых определить показатель преломления не представляется возможным из-за темного цвета [1].

Далее как исходные нефтепродукты, так и отдельные углеводородные группы, полученные из них путем жидкостно-адсорбционной хроматографии, были проанализированы с помощью ВЭЖХ. Для этой цели был использован жидкостной хроматограф Varian Prostar 210. Разделение проводилось на колонке, заполненной силикагелем с привитыми аминопропильными группами, в качестве растворителя проб и элюента применяли н-гептан.

Детектирование велось с помощью детектора по светорассеиванию (СР), принцип действия которого сводится к распылению потока элюируемой жидкости, испарению из него растворителя и измерению интенсивности рассеиваемого светового потока на тумане из неиспарившегося анализируемого вещества.

Отклик СР-детектора в основном определяется объемом нелетучих веществ в потоке элюента и слабо зависит от химического состава компонента, что весьма удобно для количественного анализа, т.к. состав узкой фракции может быть определен через соотношение площадей пиков.

Хроматограммы углеводородных фракций, соответствующих бициклическим и трициклическим аренам, извлеченных из средневязкого масляного дистиллята, приведены на рис. 1 и 2. Соответствие пиков хроматограммы указанным углеводородным группам было установлено с использованием спектров поглощения в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне, определяемых хроматографическим УФ-детектором, установленном последовательно с СР-детектором.

Данные хроматограммы свидетельствуют, что общепринятый метод анализа группового состава тяжелых нефтепродуктов жидкостной адсорбционной хроматографией не способен эффективно разделить различные группы углеводородов, поэтому каждая фракция покидающая колонку представляет собой смесь углеводородных групп. Данное заключение справедливо в различной степени для любых хроматографических разделений нефтепродуктов, особенно высококипящих [2, 3], поскольку они представляют собой смесь

большого числа углеводородов преимущественно гибридного строения.

Результаты определения методом ВЭЖХ группового состава фракций нефтепродуктов, извлеченных из средневязкого и вязкого масляного дистиллята методом ЖАХ на силикагеле приведены на рис. 3 и 4.

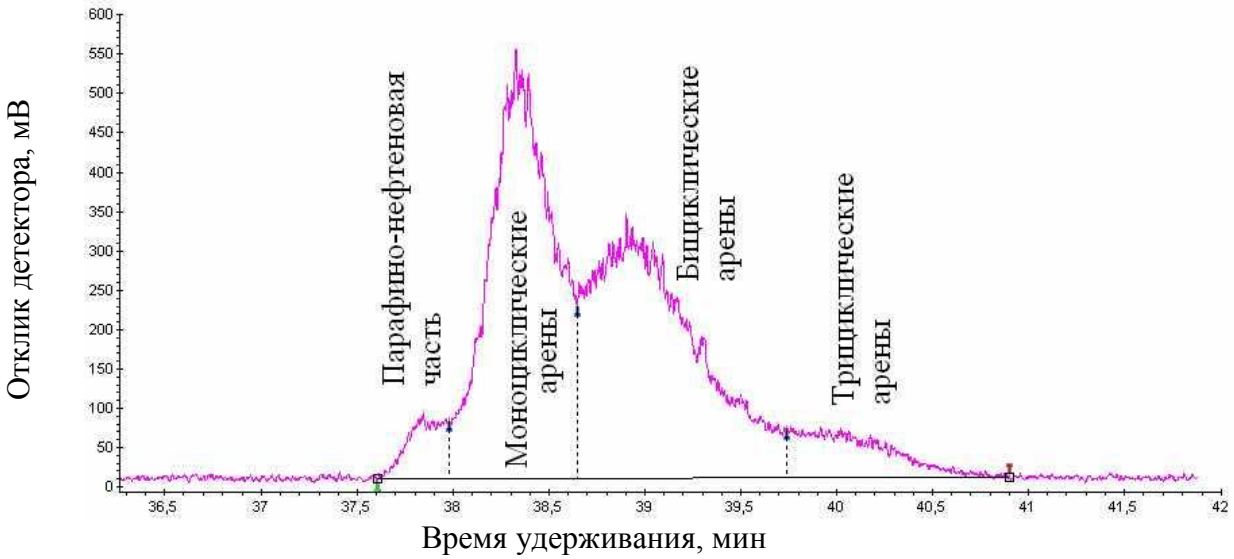


Рис. 1 – Хроматограмма фракции бициклических аренов (n_D^{20} = 1.540) извлеченной из средневязкого масляного дистиллята (ввод пробы осуществлен на отметке 31.5 мин)

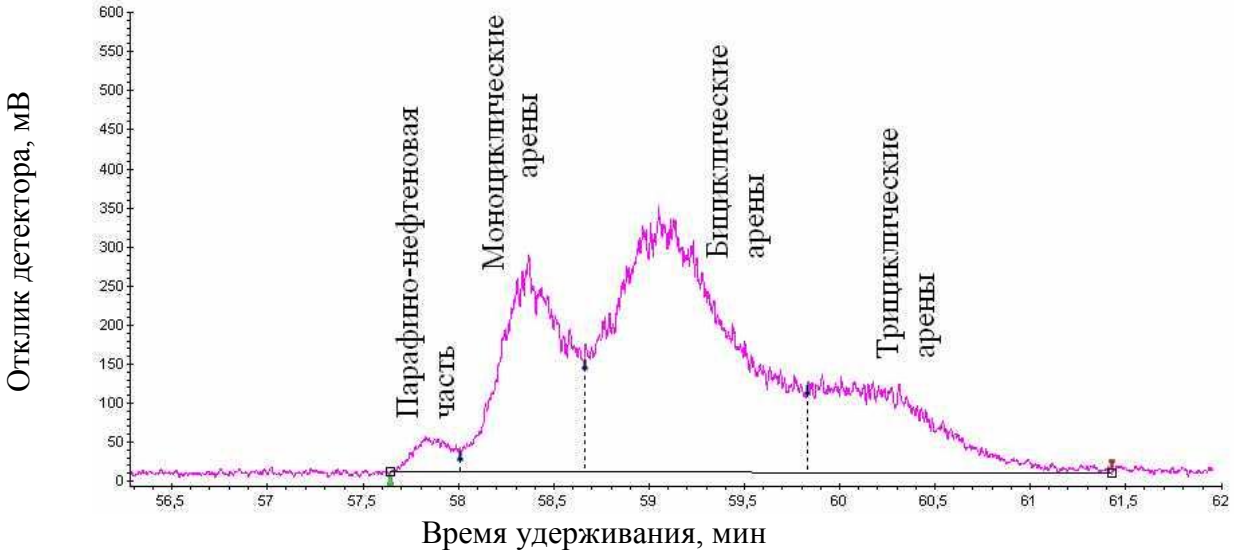


Рис. 2 – Хроматограмма фракции трициклических аренов (n_D^{20} = 1.559) извлеченной из средневязкого масляного дистиллята (ввод пробы осуществлен на отметке 51.5 мин)

Соотношение различных классов углеводородов определено по данным СР-детектора.

Данные рис. 3 и 4 говорят о том, что разделение методом ЖАХ приводит к весьма существенному перекрыванию (заметное налегание присутствует не только у соседних углеводородных групп, но и даже у парафино-нафтеновой части и трициклических аренов). Помимо этого, отнесение фракции к той или иной группе углеводородов лишь по величине показателя преломления также весьма условно и может приводить к заметной погрешности не только для нефтепродуктов, полученных из различных нефтей, но и для различных фракций одной и той же нефти.

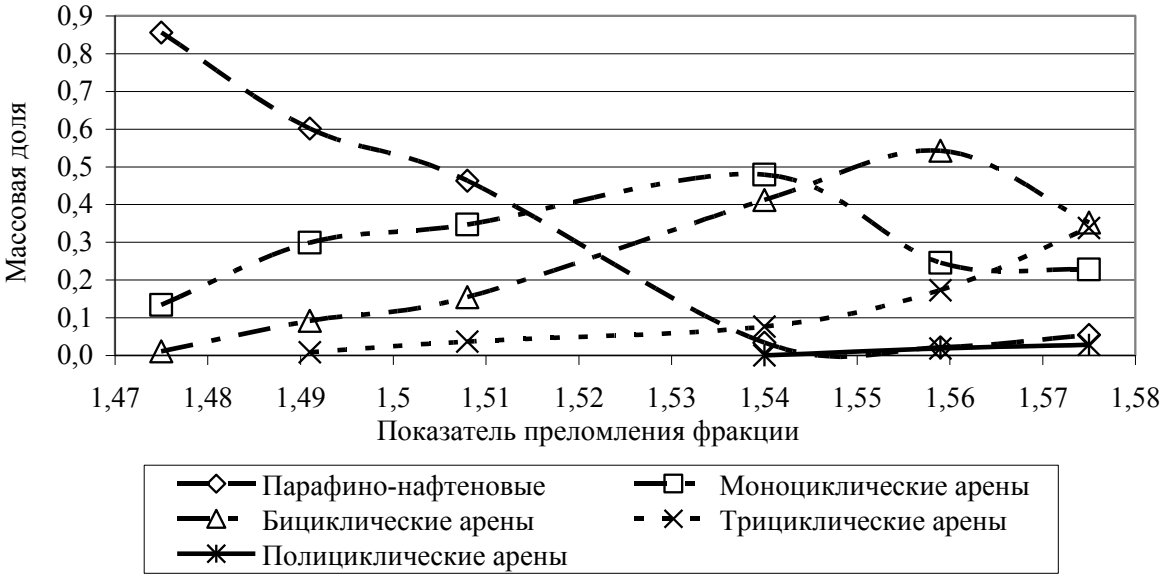


Рис. 3 – Зависимость группового состава фракций, извлеченных методом ЖАХ из средневязкого масляного дистиллята, от их показателя преломления

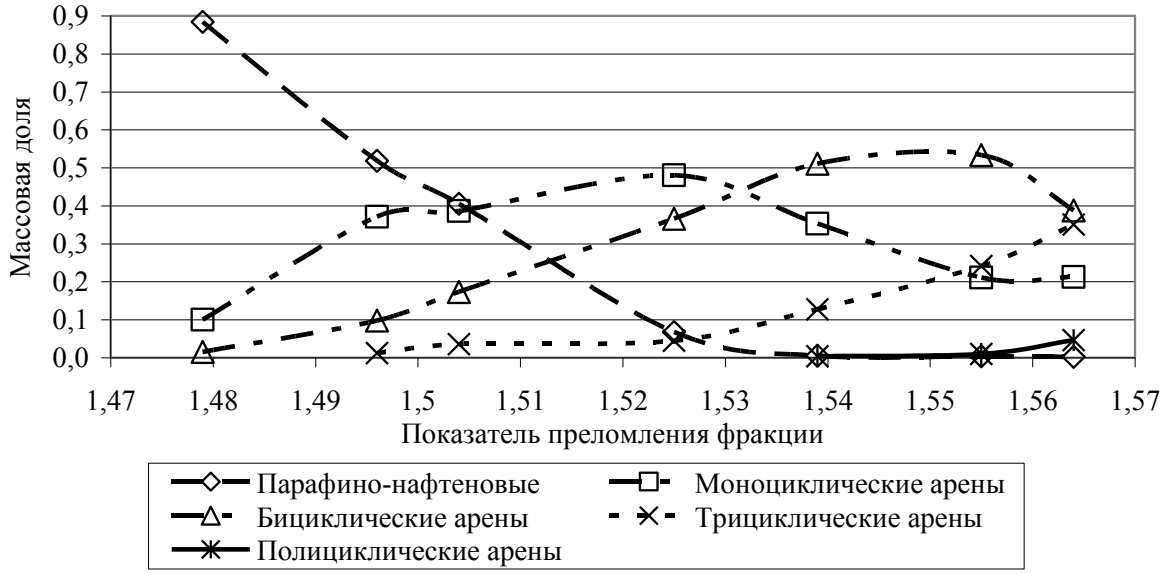


Рис. 4 – Зависимость группового состава фракций, извлеченных методом ЖАХ из вязкого масляного дистиллята, от их показателя преломления

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что общепринятая методика определения группового состава высококипящих нефтепродуктов методом жидкостной адсорбционной хроматографии на силикагеле последовательным элюированием растворителями с возрастающей полярностью, помимо высокой длительности анализа, характеризуется также неудовлетворительной разделительной способностью.

Применение подобных методик остается оправданным в ходе исследовательских работ, требующих извлечения из нефтепродукта отдельных углеводородных групп в количестве, достаточном для проведения каких-либо анализов. В то же время, в случае определения группового состава целесообразнее использовать ВЭЖХ и спектральные методы анализа.

Список литературы

1. ГОСТ 11244-76 Метод определения потенциального содержания дистиллятных и остаточных масел.
2. *Доломатов М.Ю.* Химическая физика многокомпонентных органических систем. Часть 1. Физико-химическая теория сложных органических и нефтехимических систем. – Уфа: Институт проблем нефтепереработки и нефтехимии АН РБ, Уфимский технологический институт сервиса, 2000. – 124 с.
3. *Унгер Ф.Г., Хайрудинов И.Р., Доломатов М.Ю., Колбин М.А., Хашпер Л.М.* Метод идентификации состава углеводородных нефтяных фракций и нефтяных остатков. – Томск: Препринт №60 ИНХ СО АН ССР, 1989. – 47 с.

05.17.07

А.С. Ширкунов к.т.н., В.Г. Рябов д.т.н., Е.В. Парфенова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра Химической технологии топлива и углеродных материалов,
Пермь, ashirkunov@rambler.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ С УЛУЧШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ ПРОТИВ СТАРЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАУНДИРОВАННОЙ БИТУМНОЙ ОСНОВЫ И МОДИФИКАТОРА «ELVALOY 4170 RET»

Исследована возможность получения дорожных полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) с использованием модификатора «Elvaloy 4170 RET», отличающихся улучшенной стойкостью против старения. Показано, что чистые неокисленные нефтепродукты являются малопригодными для модифицирования данным полимером, поскольку не удается обеспечить требуемый уровень пластичности. Выявлено, что оптимальной нефтяной основой для получения ПБВ с улучшенной стойкостью против старения являются компаундированные битумы.

Ключевые слова: *битум, полимерно-битумные вяжущие, стойкость против старения, компаундированные битумы.*

Год от года нагрузки на дорожное полотно со стороны автотранспорта возрастают. Это обстоятельство диктует необходимость поиска способов увеличения прочности и долговечности покрытия автомобильных дорог. Наиболее часто при строительстве дорог применяется асфальтобетон, многие свойства которого определяются дорожным битумным связующим, использованным при его приготовлении.

Одним из способов улучшения целого ряда параметров качества таких связующих является модифицирование специальными полимерными добавками. Получаемые при этом материалы носят название полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) и отличаются повышенной термостойкостью и эластичностью, что способствует меньшему колееобразованию и износу верхних слоев автомобильных дорог, построенных с применением асфальтобетона содержащего в своем составе ПБВ.

Однако характеристики битумных вяжущих подвержены изменениям как в ходе приготовления асфальтобетона (при нагреве до высоких температур тонкой пленки битумного вяжущего на поверхности зерен минерального наполнителя в присутствии кислорода воздуха), так и в ходе его эксплуатации (при длительном контакте с кислородом воздуха и водой при сравнительно низких температурах). Подобное изменение свойств битумов (и ПБВ в том числе) называют старением, и стойкость связующего против данного процесса во многом определяет срок службы дорожных покрытий из асфальтобетона. В связи с этим, увеличение стойкости против старения как нефтяных битумов, так и ПБВ, представляет собой весьма важную и актуальную задачу.

Известно, что битумы полученные концентрированием тяжелых нефтяных фракций и не подвергавшиеся процессу окисления обладают существенно более высокой стойкостью против старения [1, 2]. Поэтому первоначально эксперименты по получению ПБВ проводились с использованием в качестве основы для модифицирования таких тяжелых нефтяных остатков как гудрон и асфальт деасфальтизации гудрона пропаном, получаемые на технологических установках в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» (табл. 1).

В качестве полимерной добавки был использован модификатор битумов «Elvaloy 4170 RET», используемый для приготовления дорожных полимербитумов на данном предприятии. Данный модификатор представляет собой сополимер этилена,

бутилакрилата и глицидил метакрилата. Звенья глицидил метакрилата содержат функциональную эпоксигруппу, способную химически связываться с карбоксильными группами асфальтенов и тяжелых смол, что увеличивает стабильность полимерно-битумных смесей и препятствует их расслоению [3].

Таблица 1 – Характеристики неокисленных высококипящих нефтяных фракций, использованных при получении ПБВ

Компонент	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Вязкость условная при 80°С, с	Температура размягчения по КиШ, °С
Гудрон	>305	130	34.0
Асфальт	>305	232	36.0

Получение ПБВ проводили по следующей методике. Навеска модификатора вводилась в предварительно нагретую до 190-200 °С нефтяную основу. Смесь перемешивалась лопастной мешалкой со скоростью 240 об/мин в течение 3 ч при температуре 190-200 °С до полного растворения полимера. Далее полученное ПБВ выдерживалось при указанной температуре и постоянном перемешивании еще в течение 5 ч для завершения реакций между модификатором и углеводородами битума (в соответствии с рекомендациями производителя). После этого у образца ПБВ определялись требуемые характеристики.

Параметры качества полученных ПБВ представлены в табл. 2. Из полученных данных видно, что полимерно-битумные вяжущие на основе чистых неокисленных компонентов обладают чрезмерной пластичностью и не соответствуют нормам ГОСТ 22245-90 и СТО 00148636-019-2008 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» на ПБВ с добавкой «Elvaloy 4170 RET» по данному показателю. Повышение температуры размягчения при модифицировании также мало и составляет 4-4.5°С при содержании полимера 1 мас. % и 12-14.5°С при его концентрации равной 1.5 мас. %.

Таблица 2 – Параметры качества ПБВ, полученных на основе неокисленных высококипящих нефтепродуктов

Состав нефтяной основы, мас. %	Содержание полимера*, мас. %	Температура размягчения, °С	Пенетрация при 25°С, 0.1 мм
Гудрон – 100%	исходный компонент	34.0	407
	1.0	38.0	230
	1.5	49.5	216
Асфальт – 100%	исходный компонент	36.0	305
	1.0	40.5	178
	1.5	50.0	173
Требования ГОСТ 22245-90 на битумы нефтяные дорожные вязкие			
БНД 90/130		≥43	91-130
Требования СТО 00148636-019-2008 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» на ПБВ с добавкой «Elvaloy 4170 RET»			
ПБВЭ –90/130		≥ 51	91-130

Примечание: * Содержание полимера приведено сверх нефтяной основы.

В то же время дальнейшее увеличение содержания полимера в битуме ограничено образованием нерастворимого и неплавкого полимербитумного геля, который не может быть использован для производства асфальтобетона. Данное обстоятельство является одной из особенностей применения реакционноспособных модификаторов битума [3].

Одним из способов доведения пластичности ПБВ до необходимого уровня может служить введение в его состав окисленного битума дорожных или строительных марок [2, 4, 5]. Данный подход и был использован в дальнейших экспериментах.

В качестве нефтяной основы для модифицирования применялась смесь неокисленнго компонента (гудрона или асфальта) и окисленного (битумы марки БНД 60/90, БНД 90/130, БН 70/30 или БН 90/10, производимые в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»).

В ходе исследований было выявлено, что уровень воздействия реакционноспособного модификатора «Elvaloy 4170 RET» на свойства ПБВ с увеличением содержания в нефтяной основе окисленного компонента существенно возрастает (рис. 1). По-видимому, данное обстоятельство можно связать с увеличением в смеси количества кислородсодержащих функциональных групп, с которыми способен химически взаимодействовать данный модификатор.

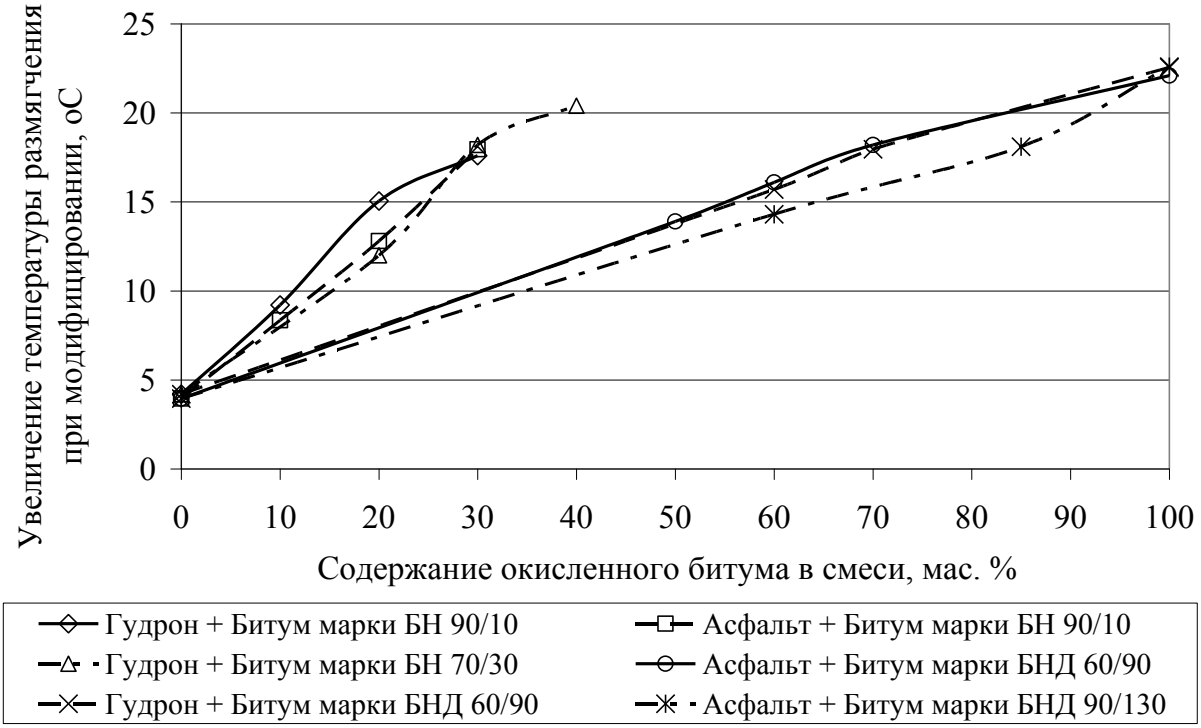


Рис. 1 – Увеличение температуры размягчения битума в ходе его модифицирования полимером в зависимости от состава нефтяной основы (концентрация модификатора «Elvaloy 4170 RET» - 1 мас. %)

Исследования показали, что данный эффект возрастает если в исходные гудрон или асфальт вводить окисленные битумы с высокой температурой размягчения (в частности, марок БН 70/30 и БН 90/10), поскольку в этом случае возможно максимизировать содержание неокисленной части в ПБВ, что целесообразно с точки зрения высокой стойкости против старения и высокой эффективности воздействия модификатора (рис. 1).

Анализ ПБВ на стойкость против старения проводился по методу TFOT по EN 12607-2 (данный метод имеет наибольшее сходство с отечественной методикой ГОСТ 18180, отличаясь несколько более жесткими условиями старения). Определяли такие показатели как изменение массы после прогрева, увеличение температуры размягчения и остаточную пенетрацию при 25°С.

Параметры качества некоторых образцов ПБВ, полученных на основе смеси гудрона или асфальта с битумом марки БН 90/10 (температура размягчения – 97°С, пенетрация при 25°С – 14·0.1 мм) представлены в табл. 3. Из данных таблицы видно, что характеристики таких ПБВ находятся на весьма высоком уровне и соответствуют как нормам ГОСТ 22245-90, так и СТО ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» и Государственной компании «Автодор»,

которые имеют существенно более высокие требования, в особенности по стойкости против старения.

Изменение массы после прогрева во всех случаях не превышало 0.1 мас. %, что с запасом соответствует требованиям всех стандартов (данная характеристика не должна превышать 0.3-0.8 мас. % в зависимости от стандарта и марки битума).

Кроме того, при необходимости низкотемпературные свойства ПБВ могут быть несколько улучшены путем введения в состав вяжущего небольших количеств затемненного вакуумного погона или экстракта селективной очистки остаточных масел.

Таким образом, выполненные исследования показали, что высококачественные ПБВ, отличающиеся высокой стойкостью против старения на базе модификатора «Elvaloy 4170 RET» могут быть получены на основе компаундов неокисленных тяжелых высококипящих нефтепродуктов и окисленных битумов с высокой температурой размягчения.

Таблица 3 – Характеристики ПБВ на базе модификатора «Elvaloy 4170 RET» на компаундированной битумной основе

Состав нефтяной основы		Содержание полимера,%	Температура размягчения, °С	Пенетрация при 25°С, 0,1 мм	Пенетрация при 0°С, 0,1 мм	Дуктильность при 25°С, см	Дуктильность при 0°С, см	Температура хрупкости, °С	Увеличение температуры размягчения, °С	Остаточная пенетрация при 25°С, %
Неокисленный компонент	Содержание битума марки БН 90/10, мас. %									
Асфальт	20	1.0	52.0	99	30	>150	6.5	-22.5	3,5	70
	30	1.0	61.0	76	26	73	6.0	-23.5	1,5	66
	30	0.7	52.0	83	29	>150	6.5	-23.5	4,5	70
Гудрон	20	1.0	53.0	108	32	130	5.5	-24.0	4,5	67
	30	1.0	60.5	80	23	68	5.0	-23.5	2,5	68
	30	0.7	53.0	83	22	>150	5.5	-23.0	3,5	65
Требования ГОСТ 22245-90 на битумы нефтяные дорожные вязкие										
БНД 60/90			≥ 47	61-90	≥ 20	≥ 55	≥ 3.5	≤ –15	≤ 5.0	-
БНД 90/130			≥ 43	91-130	≥ 28	≥ 65	≥ 4.0	≤ –17	≤ 5.0	-
Требования СТО 00148636-019-2008 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» на ПБВ с добавкой «Elvaloy 4170 RET»										
ПБВЭ –60/90			≥ 54	61-90	≥ 25	≥ 55	≥ 4.0	≤ –23	≤ 5.0	≥ 50
ПБВЭ –90/130			≥ 51	91-130	≥ 30	≥ 65	≥ 4.5	≤ –25	≤ 5.0	≥ 45
Требования СТО АВТОДОР 2.1-2011 Государственной компании «Автодор» битумы нефтяные дорожные улучшенные										
БНДУ 60			≥51	51-70	≥13	≥70	-	≤ –15	≤ 5.0	≥ 65
БНДУ 85			≥49	71-100	≥20	≥100	≥3.5	≤ –17	≤ 5.0	≥ 65

Использование таких компонентов позволяет максимизировать содержание в вяжущем неокисленной части, что способствует существенному снижению стоимости продукта (т.к. большая его часть минует процесс окисления), увеличению гибкости процесса получения ПБВ (поскольку из двух компонентов варьированием их соотношения могут быть получены различные марки вяжущих) и возрастанию адгезии битума к минеральным материалам кислого характера. При этом, высокий уровень характеристик ПБВ может быть достигнут даже при весьма низком (0.7-1.0 мас. %) содержании дорогостоящего полимерного модификатора.

Список литературы

1. *Исраилова З.С.* Влияние технологии битумов на устойчивость к старению // Диссер. на соиск. степени канд. техн. наук. – Астрахань. – 2012.
2. *Евдокимова Н.Г., Кортянович К.В., Жирнов Б.С., Ханнанов Н.Р.* Получение дорожных битумов компаундированием переокисленных битумов с гудроном // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2004. http://www.ogbus.ru/authors/Evdokimova/Evdokimova_1.pdf . – 6 с.
3. *Giovanni Polacco, Jiri Stastna, Dario Biondi, Ludovit Zanzotto.* Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts // Current Opinion in Colloid & Interface Science 11 (2006) 230-245.
4. *Ширкунов А.С., Рябов В.Г., Чудаков И.К.* Получение полимербитумных вяжущих с использованием модификатора Elvaloy 4170 RET на основе строительного битума марки БН 70/30 и неокисленных высококипящих нефтепродуктов // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Химическая технология и биотехнология. – 2010. – №11. – С. 106-113.
5. *Гуреев А.А.* Компаундирование – основа современных технологий производства дорожных битумных материалов // Технологии нефти и газа. 2010 г. №6, С. 14-16.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.К. Половняк, А.Ф. Хабибрахманов

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Ключевые слова: природные битумы, асфальтены, термолиз.

Рассмотрены различные варианты облагораживания и переработки природных битумов РТ. В частности, гидротермальные в сочетании с поверхностно-активными веществами, сольвентные для удаления асфальтеновых фракций и термические для получения газообразных и жидких продуктов. Дан сопоставительный анализ рассмотренных методов и перспективы их практического применения.

V.K. Polovnyak, A.F. Habibrahmanov

PROSPECTS FOR TREATMENT AND USE OF THE REPUBLIC OF NATURAL BITUMEN

Keywords: natural bitumen, asphaltenes, thermolysis.

Different versions of refining and processing of natural bitumen RT. In particular, hydrothermal, combined with surfactants, solvent removal and thermal asphaltene fractions for gaseous and liquid products. Given the comparative analysis of the methods considered and the prospects for their practical application.

А.О. Артемов, М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова

О ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОМ ОПИСАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

Ключевые слова: деформация, релаксация, ползучесть, синтетические минеральные сплавы, одноосное сжатие.

Рассматриваются различные подходы к феноменологическому описанию деформационного поведения синтетических минеральных сплавов, получены аналитические данные по характеристики их релаксации, которые подтверждены экспериментально. Экспериментально установлен предел упругости и величина ползучести.

A.O. Artemov, M.N. Ignatov, A.M. Ignatova

ON THE STRESS RELAXATION DURING DEFORMATION OF SYNTHETIC MINERAL ALLOYS

Keywords: strain, relaxation, creep, synthetic mineral alloys, uniaxial compression

Different approaches to the phenomenological description of the deformation behavior of the synthetic mineral alloys, analytical data on the characteristics of their relaxation, which have been confirmed experimentally. Experimentally established the elastic limit and the amount of creep.

В.В. Дружинин, Л.А. Лобов

РАЗЛОЖЕНИЕ ОБРАТНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ ЧИСЕЛ НА ДРОБИ

Ключевые слова: ряд Лорана, рациональные функции, ряды.

Получен алгоритм разложения дробного рационального числа на сумму простых дробей. Использован метод многоцентрового ряда Лорана. Получены новые соотношения между факториалами и новые суммы числовых рядов.

V.V. Druzhinin, L.A. Lobov

THE EXPANSION OF INVERSE PRODUCT OF NUMBERS INTO FRACTIONS

Keywords: Laurent series, rational function, numerical series.

The algorithm of expansion of a fractional rational number into the sum of the vulgar fraction has been obtained. The method of multicenter Laurent series was used. New correlation among factorials and new sums of numerical series have been obtained.

А.М. Игнатова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО ИСКАЖЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРЕШЕНИИ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, деформация, разрушение, акустическая эмиссия.

В работе предложена модель процесса деформации и разрушения синтетических минеральных сплавов, а так же соответствующие им закономерности, основанием для составления модели служили результаты регистрации акустической эмиссии в процессе одноосного нагружения образцов.

A.M. Ignatova

RESEARCH CONSISTENTLY STRUCTURAL DISTORTION OF SYNTHETIC MINERAL ALLOYS DURING DEFORMATION AND THE PERMITTED METHODS REGISTRATION ACOUSTIC EMISSION

Keywords: Petrurgy, stone molding, deformation, fracture, acoustic emission.

In this paper, a model of the deformation and fracture of synthetic mineral alloys, as well as their respective laws, the basis for the modeling results were recording acoustic emission during uniaxial loading of samples.

А.В. Михайлов, В.Л. Шаблов

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БОРНОВСКИЕ РЯДЫ В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ЧАСТИЦ С КУЛОНОВСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Ключевые слова: квантовая теория рассеяния, кулоновское взаимодействие, амплитуда перехода, борновские ряды.

Разработан метод выделения трехчастичных кулоновских сингулярностей в членах ряда теории возмущений для матричных элементов Т-оператора рассеяния в системе 3-х частиц с чисто кулоновским взаимодействием. Как следствие, получено разложение для амплитуды процесса развала в модифицированные борновские ряды, члены которых регулярны на энергетической поверхности.

A.V. Mikhailov, V.L. Shablov

MODIFIED BORN SERIES IN THE QUANTUM PROBLEM OF THREE PARTICLES WITH THE COULOMB INTERACTION

Key words: quantum scattering theory, Coulomb interaction, transition amplitude, Born series.

The method to manifest explicitly the three-particle Coulomb divergences in Born series for the T-matrix corresponding to a three-particle system with the pure Coulomb interaction is elaborated. As a result modified Born series for the break-up amplitude which are regular on the energy-shell are formulated.

М.С. Моисеенков, С.В. Русаков

РАЗНОСТНАЯ СПЛАЙН-СХЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ДИФФУЗИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕАГИРУЮЩЕЙ СМЕСИ

В статье предложена новая сплайн-схема для моделирования физико-химических процессов, происходящих в замкнутых объёмах в случае, когда можно пренебречь конвективной составляющей и ограничиться только учетом диффузии. Выполненные для обобщенной задачи тестовые расчеты показали хорошую работоспособность предлагаемой разностной сплайн-схемы.

M.S. Moiseenkov, S.V. Rusakov

SPLINE DIFFERENCE SCHEME FOR MULTICOMPONENT REACTING MIXTURE'S DIFFUSION CALCULATION

In this article presented new spline difference scheme for modeling physicochemical processes in closed region in case of convection neglecting and with regard to diffusion only. Performed test computations for generalized problem indicates good operability of proposed spline difference scheme.

О.Ю. Сметанников, Н.П. Поносов

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ В ANSYS CFX

Ключевые слова: ANSYS CFX, сверхзвуковой поток, подвижная граница.

Проведена верификация решения в пакете ANSYS CFX нестационарной задачи о движении сверхзвукового потока с подвижной внутренней границей данными натурного эксперимента. Даны рекомендации по выбору параметров расчетной схемы для краевых задач подобного класса.

O.Yu. Smetannikov, N.P. Ponosov

STUDY OF UNSTEADY FLOW WITH MOVING BOUNDARIES IN ANSYS CFX

Keywords: *ANSYS CFX, supersonic flow, moving boundary, mesh deformation, remeshing.*

The verification of nonstationary problem for a supersonic flow with a moving internal boundary solved by ANSYS CFX is done by comparison with experimental data. Recommendations on the choice of the design scheme parameters for boundary value problems of this class are developed.

Г.С. Филиппов, Б.Ю. Ященко, В.С. Николаенко, И.Е. Евдокимов

РАСЧЕТ ИНДИКАТРИССЫ СЛОЖНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Ключевые слова: математическое моделирование, индикатриса, излучение, излучатель, отражатель.

На основе итерационно-зонального метода и методик, используемых в компьютерной графике, разработан новый метод расчёта индикатрисы в поглощающей среде от сложных излучателей. Обмен энергией между площадками определялся при помощи метода прямого хода луча. Достоверность метода подтверждена экспериментом.

G.S. Filippov, B.Ju. Jawenko, V.S. Nikolaenko, I.E. Evdokimov

THE DIFFICULT RADIATOR INDICATRIX CALCULATION

Keywords: mathematical modelling, indicatrix, radiation, a radiator, a reflector.

On the basis of an iteratsionno-zone method and the techniques used in computer graphics, the new method of indicatrix in the absorbing environment from difficult radiators calculation is developed. The exchange of energy between platforms was defined by means of a forward stroke beam method. Reliability of this method is confirmed by experiment.

О.М. Адианова, В.И. Летунов

3-АРИЛИДЕНАМИНОПРОПАНОЛЫ В РЕАКЦИИ С МЕТИЛКЕТОНАМИ

Ключевые слова: 3-арилиденаминопропанолы, ацетофеноны, непредельные кетоны.

O.M. Adianova, V.I. Letunov

3-ARYLIDENAMINOPROPANOLES IN REACTION WITH ACETOTHENONES

Keywords: N-aryliden-3-aminopropanoles, acetothenones, unsaturated cetones.

Изучено взаимодействие 3-арилиденаминопропанолов с ацетофенонами. Найдено, что вместо ожидаемых продуктов присоединения ацетофенонов к шиффовым основаниям образуются непредельные кетоны.

О.В. Манаенков, А.Е. Филатова, О.Ю. Макеева, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман, А.С. Торозова, О.В. Кислица

КОНВЕРСИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СРЕДЕ СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ПРИСУТСТВИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРИРОВАНИЯ

Ключевые слова: целлюлоза, гетерогенный катализ, субкритическая вода, гидрирование, полиолы.

В работе представлены результаты исследования процесса гидролитического гидрирования целлюлозы в среде субкритической воды в присутствии Ru-содержащего катализатора на основе сверхсшитого полистирола (СПС). Было показано, что использование носителя нового типа повышает эффективность конверсии целлюлозы в полиолы – важное сырьё для химической промышленности.

Л.И. Юревич, А.В. Лисов, А.А. Леонтьевский

ДВУХДОМЕННАЯ ЛАККАЗА БАКТЕРИИ *STREPTOMYCES LIVIDANS* AC-1709 – ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЙ БИОКАТАЛИЗАТОР, АКТИВНЫЙ ПРИ ЩЕЛОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ pH

Ключевые слова: двухдоменная лакказа, биокатализ, окисление фенольных соединений, получение биокатализатора.

Двухдоменная лакказа была клонирована из генома бактерии Streptomyces lividans Ac-1709, была определена последовательность гена. Был получен рекомбинантный продуцент биокатализатора и проведена очистка биокатализатора. Исследованы физико-химические и каталитические свойства двухдоменной лакказы. Обнаружено, что двухдоменная лакказа была термостабильной и сохраняла активность при 80°С в течение часа. Двухдоменная лакказа катализировала окисление ряда фенольных субстратов при щелочных значениях pH.

С.Н. Алехин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В БАРАБАНЕ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОТЖИМЕ

Ключевые слова: динамика стиральных машин, угловые колебания, динамическая неуравновешенность, продольное смещение изделий.

В статье рассматриваются вопросы определения величины продольного смещения текстильных изделий в барабане при отжиме. Установлены зависимости смещения от конструктивных параметров стирального барабана. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании динамики стиральных машин при отжиме.

В.В. Андреев, К.Г. Петров, Н.П. Тарасова, В.А. Чирков

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ГУМАНИТАРИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: гуманитаризация, вербализм, предметность, мышление, категория системы.

The interaction between N-aryliden-3-aminopropanols and acetothenons was studied. It was found that instead waiting adding acetothenons to Schiff bases unsaturated cetones were formed.

O.V. Manaenkov, A.E Filatova, O.Yu. Makeeva, M.G. Sulman, E.M. Sulman, A.S. Torozova, O.V. Kislitza

CONVERSION OF CELLULOSE IN SUBCRITICAL WATER IN PRESENCE OF HETEROGENEOUS CATALYSTS

Keywords: cellulose, heterogeneous catalysis, subcritical water, hydrogenation, polyols.

The paper presents the results of cellulose hydrolytic hydrogenation process in subcritical water in presence of Ru-containing catalyst - hypercrosslinked polystyrene (HPS). It was shown that the use of new type support result in efficiency increasing of cellulose conversion in polyols - an important intermediates for the chemical industry.

L.I. Yurevich, A.V. Lisov, A.A. Leontievsky

TWO DOMAIN LACCASE OF BACTERIA *STREPTOMYCES LIVIDANS* AC-1709 – THERMOSTABLE BIOCATALYST THAT IS ACTIVE AT ALKALINE PH VALUES

Key words: *two domain laccase, biocatalysis, oxidation of phenolic compounds, obtaining of biocatalyst*

Two-domain laccase was cloned from the genome of the bacteria Streptomyces lividans Ac-1709 and its gene sequence was identified. A recombinant producer of biocatalyst was obtained and biocatalyst was cleaned. The physico-chemical and catalytic properties of two-domain laccase were studied. It was found that two-domain laccase was thermostable and was active at 80 ° C for one hour. Two-domain laccase catalyzed oxidation of phenolic substrates at alkaline pH values.

S.N. Alekhin

THE STUDY OF THE LONGITUDINAL DISPLACEMENT OF TEXTILE PRODUCTS IN THE DRUM WASHING MACHINES FOR SPINNING

Keywords: dynamics of washing machines, angular fluctuations, dynamic unbalance, longitudinal shift of the products.

The article deals with the definition of the longitudinal displacement of textiles in the drum during the spin cycle. The dependencies of the displacement on the design parameters of washing drum. The results can be used to study the dynamics of washing machine during the spin cycle.

V.V. Andreev, K.G. Petrov, N.P. Tarasova, V.A. Chirkov

SYSTEM APPROACH AND THE GUMANITARIZATION OF TECHNICAL EDUCATION

В работе рассматриваются проблемы существующего технического образования и обсуждаются его основные недостатки. Предлагаются подходы к их устранению в направлении интеллектуализации образования. Приводится пример использования элементов системного подхода в практике обучения.

Keywords: gumanitarization, verbalism, subject, thinking, category system.

To consider problems of the existing technical education and discusses its main deficiency. Offer approaches at them liquidate to the direction of towards intellectualization education. To consider an example of a systematic approach to the practice of teaching.

И.А. Анисимов, Л.Н. Буракова, В.Ф. Буторин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ

Ключевые слова: расход топлива, кондиционер, холостой ход, цвет автомобиля, мощность двигателя.

В работе рассматривается вопрос влияния факторов на расход топлива при работе систем кондиционирования салона автомобиля.

I.A. Anisimov, L.N. Burakova, V.F. Butorin

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF WORK OF ELECTRIC SYSTEMS ON CAR FUEL CONSUMPTION

Keywords: fuel consumption, conditioner, idling, color of the car, engine capacity.

In work the question of influence of factors on fuel consumption at work of central airs of salon of the car is considered.

М.И. Баженов, А.И. Харченко

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОВ С ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ

Ключевые слова: тонкодисперсная минеральная добавка, портландцемент, Микродур.

Исследование влияние тонкодисперсного минерального вяжущего Микродур на свойства композионного вяжущего. Показано, что тонкодисперсная добавка в цементных системах выполняет роль центров кристаллизации. Получено значительное увеличение прочности цементного камня при введение Микродура.

M.I. Bazhenov, A.I. Kharchenko

A STUDY OF SOME PROPERTIES OF THE CEMENT WITH FINE ADDITION

Keywords: finely dispersed mineral supplement, Portland, Mikrodur.

Study of the effect of ground mineral binder on the properties Mikrodur kompozionnogo binder. It is shown that fine Cement systems acts as nucleation sites. Received a significant increase in the strength of cement paste with the introduction Mikrodura.

Ю.М. Баженов, А.И. Харченко

БЕЗУСАДОЧНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПЕСКОВ

Ключевые слова: Мелкозернистый бетон, модификатор, усадка, сульфоалюминаты.

Исследование влияния расширяющихся добавок на усадку мелкозернистого бетона Получение данных по плотности и прочности бетона с модификатором. Показано, что химические усадки при использовании модификатора снижается в четыре раза.

Ju.M. Bazhenov, A.I. Kharchenko

DIMENSIONAL STABILITY OF FINE-GRAINED CONCRETE WITH UNCONDITIONED SANDS

Key words: Fine concrete, modifier, shrinkage, sulfoalyuminaty.

Investigation of the effect of expanding additives for shrinkage fine concrete Retrieving density and strength of concrete with the modifier. Shown that chemical shrinkage during the modifier reduced by four times.

А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ПОСТАХ ПО ТО И РЕМОНТУ МАШИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Ключевые слова: производственно-техническая база, магистральные нефтепроводы, спецтехника, эксплуатация, техническое обслуживание.

В статье рассмотрены вопросы формирования рациональной структуры производственно-технической базы для ТО и ремонта машин, используемых при строительстве и ремонте линейной части магистральных нефтепроводов. Предложены зависимости рационального количества постов для ТО и ремонта машин от производственных факторов

A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin, Yu.E. Yakubovskiy

DETERMINATION OF REQUIREMENT OF POSTS FOR MAINTENANCE AND REPAIR MACHINES IN THE CONSTRUCTION AND REPAIR OF OIL PIPELINES

Keywords: technological base, the main oil pipelines, special technics, exploitation, maintenance service.

The article deals with the formation of a rational structure of production and technical facilities for the service and repair of machinery used in construction and repair of the linear part of oil pipelines. The relations of requirement of posts for maintenance and repair machines with some production factors were determined. Mathematical models of these relations were established.

и установлены математические модели этих закономерностей. На основе разработанной имитационной модели для каждого типа техники определены наиболее рациональные базы для ее обслуживания и ремонта.

The developed simulation model for each type of machines identified the most rational depot for its maintenance and repair.

А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ТОПЛИВОЗАПРАВЩИКАХ ДЛЯ МАШИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, транспортно-технологические машины, топливозаправщик, ремонт, строительство.

В статье рассмотрена математическая модель определения рационального количества передвижных средств заправки для транспортно-технологических машин, используемых в процессах ремонта магистральных нефтепроводов Западной Сибири. Определена нормативная потребность в топливозаправщиках в зависимости от объемов работ по ремонту магистральных нефтепроводов.

A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin, Yu.E. Yakubovskiy

DETERMINATION OF REQUIPMENT FOR REFUELING VEHICLES FOR MASHINES, USED IN REPAIR AND CONSTRUCTION OF THE MAIN OIL PIPELINES

Key words: the main oil pipeline, transport and technological machines, refueling vehicle, repair, construction.

The article contains the mathematical model for definition of rational quantity of mobile equipment for fueling transport and technological machines used in the process of repair of the main oil pipeline from Western Siberia. Normative requirement of refueling vehicles in relation with the quantity of repairs of the main oil pipelines was determined.

Т.А. Барабанова

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ключевые слова: технологические карты, календарное планирование, графики Ганта, сетевые модели Уолкера-Келли, технологическое проектирование, информационные технологии.

Рассматриваются вопросы развития и применения технологических карт в строительстве. Технологическое проектирование с использованием графиков Ганта и сетевых моделей Уолкера-Келли. Необходимость автоматизации технологических карт в строительстве.

T.A. Barabanova

TRENDS IN THE USE OF TECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION OF MAPS

Keywords: technological cards, scheduling, Gant's diagrams, Walker-Kelly's network models, technological design, information technologies.

Questions of development and application of technological cards in construction are considered. Technological design with use of diagrams Ganta and Walker-Kelly's network models. Need of automation of technological cards for construction.

В.Ф. Беккер

ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АБСОРБЕРЕ

Ключевые слова: подвижная насадка, физическая модель, вращающаяся насадка, распределение массы насадки по объему.

На основе экспериментальных исследований физической модели абсорбера с подвижной насадкой, получены результаты, подтверждающие эффекты интенсификации трехфазного псевдоожиженного слоя за счет организации вращательного движения подвижной насадки.

V.F. Bekker

EFFECT OF ROTATIONAL MOTION COMPONENTS ARE MOBILE TIPS ON INTENSITY HYDRODYNAMIC PROCESSES IN THE ABSORBER

Keywords: movable rotating nozzle, the physical model, weight distribution nozzle volume.

Based on experimental studies of physical model absorber movable nozzle results confirming the effects of the intensification of the three-phase fluidized bed due to the organization of rotational motion of the moving nozzle.

О.И. Богданов, О.И. Седляров МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ключевые слова: производство обуви, вредные вещества, рабочая зона, математическая модель, тепло- массоперенос.

O.I. Bogdanov, O.I. Sedlyarov

SIMULATION OF DISPERSAL OF POLLUTANTS IN PRODUCTION UNITS OF SHOE MANUFACTURES

Keywords: shoe manufacturing, pollutants, working area, mathematical model, heat and mass transfer.

В статье рассматриваются вопросы моделирования распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий на основе нестационарной трёхмерной модели тепло-массопереноса, описанной системой дифференциальных уравнений в частных производных.

The article is devoted to the simulations of dispersal of pollutants in production units of shoe manufactures on base of nonstationary three dimensional model of heat and mass transfer, which is presented by the system of partial differential equations.

А.В. Бондаренко, Д.А. Макаров

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНО ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: Техническое обслуживание и ремонт ВС; материально-техническое обеспечение обслуживания ВС; эксплуатационная документация.

Рассмотрены основные особенности организации материально-технического снабжения процесса технической эксплуатации и ремонта ВС. Дано описание ключевых механизмов планирования, используемых в процессе материального обеспечения ТОиР ВС. Приведен анализ информационного обеспечения указанных методов в рамках стандартной модели автоматизированной системы управления.

A.V. Bondarenko, D.A. Makarov

INFORMATION MODEL OF SUPPLY MANAGEMENT IN AVIATION MAINTENANCE

Keywords: Aircraft Maintenance, Repair and Overhaul; Supply chain management for MRO activities; Aircraft maintenance documentation.

In this article are considered main features of the logistics process during technical maintenance and repair of aviation technique. A description of the key methods of planning materials used in support MRO process is given. This article provides the information management practices analysis of an ACS standard model.

В.Н. Будилов, П.В. Дреманович

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОКАМЕРЫ

Ключевые слова: механическое колебание, вибрация, бесконтактный метод, измерение частоты, субпиксельное смещение.

Продолжено исследование бесконтактного метода измерения частоты, основанного на применении видеокамеры. Проведены лабораторные эксперименты и компьютерное моделирование метода. Получены оценки границ рабочих диапазонов амплитуд и частот при использовании недорогой камеры общего назначения в лабораторных условиях.

V.N. Budilov, P.V. Dremanovich

ABOUT THE LIMITATIONS OF MEASURING THE FREQUENCY OF MECHANICAL VIBRATIONS WITH A CAMERA SYSTEM

Keywords: mechanical vibrations, non-contact method, frequency measurement, sub-pixel displacement.

Laboratory experiments and computer modeling was performed for studies of non-contact method of measuring the frequency of the oscillations. Amplitude and frequency limits were estimated. We were using an inexpensive general purpose camera.

А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСАДКИ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ СФОРМИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, натяг, методика, измерение.

В статье показана возможность использования опорного буртика для определения натяга бандажа на ободе колесного центра электровоза. Разработана методика оценки количественной величины натяга бандажа на ободе колесного центра при насажанных бандажах сформированных колесных пар электровозов.

A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan

INCREASE OF DURABILITY OF FIT OF DETAILS WITH TENSION OF THE CREATED WHEEL PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Keywords: electric locomotive, wheel pair, bandage, tension, technique, measurement.

In article possibility of use of a reference fillet for determination of tension of a bandage on a rim of wheel center of an electric locomotive is shown. The technique of an assessment of the quantitative value of tension of a bandage on a rim of wheel center is developed in case of the fayed bandages of the created wheel pairs of electric locomotives.

В.В. Воронин

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: текстурный анализ, обнаружение границ, реконструкция, сплайн интерполяции.

V.V. Voronin

METHOD OF IMAGE RECONSTRUCTION BASED TEXTURE ANALYSIS

Keywords: image texture analysis, edge detection, reconstruction, spline interpolation.

В статье представлен новый метод реконструкции изображений на основе восстановления контуров и синтеза текстуры. Предложенный метод включает несколько этапов. На первом этапе производится предварительная обработка изображения характеристиками Лава для извлечения текстурных особенностей. На втором этапе для восстановления контуров границ используется сплайн интерполяция. После восстановления границ объектов текстура восстанавливается с помощью метода ЕВМ, который заключается в поиске похожих блоков на исходном изображении и копировании их в область с отсутствующими пикселями. Для восстановления однородных областей используется метод Telea.

This paper focuses on the fast texture and structure reconstruction of images. The proposed method, applied to images, consists of several steps. The first deals with the extracted textural features of the input images based on the Law's energy. Second, cubic spline curve is applied to reconstruct structure and connect edge and contour in damaged area. The choice of the current pixel to be recovered is decided using the fast marching approach. The Telea method or modifications of the exemplar based method are used after this depending on the classification of the regions where to-be-restored pixel is located.

В.В. Воронин, В.И. Марчук, В.А. Франц, Н.В. Гапон, Р.А. Сизякин

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: текстурный анализ, обнаружение границ, реконструкция, сплайн интерполяции.

Представлено исследование метода реконструкции изображений на основе интерполяции границ объектов кубическими сплайнами синтезе текстуры. Показано, что данный подход позволяет восстанавливать изогнутые границы в области с отсутствующими пикселями. Предложенный метод позволяет получить меньшую ошибку восстановления, чем известные методы восстановления изображений. Показана эффективность нового подхода на нескольких примерах, демонстрирующих эффективность алгоритма при удалении больших и малых объектов на тестовых изображениях.

V.V. Voronin, V.I. Marchuk, V.A. Frantc, N.V. Gapon, R.A. Sizaykin

RESEARCH OF THE METHOD OF IMAGE RECONSTRUCTION BASED TEXTURE ANALYSIS

Keywords: image texture analysis, edge detection, reconstruction, spline interpolation.

We present research of image reconstruction method using cubic spline-based edge interpolation of objects boundaries. It is shown that this approach allows to restore the curved edges in damaged image. Proposed method allows to obtain a smaller reconstruction error than that of the traditional method as well as other state-of-the-art image inpainting methods. We demonstrate the performance of a new approach via several examples, showing the effectiveness of the proposed algorithm in removal of small and large objects on the test images.

В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.И. Лушин, П.П. Пастушков

О ПРИМЕНЕНИИ ВЕТРОГИДРОЗАЩИТНЫХ МЕМБРАН В НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Ключевые слова: навесные фасадные системы, вентилируемая воздушная прослойка, ветрогидрозащитная мембрана, эмиссия волокон из минеральной ваты, продольная фильтрация воздуха.

Проанализированы положительные и отрицательные стороны применения ветрозощитных мембран в навесных фасадных системах (НФС) в основном с точки зрения строительной теплофизики. Указаны условия при которых следует выполнять монтаж НФС без ветрозащитных мембран. В частности, должна быть исключена значимая эмиссия волокон из минераловатного утеплителя и снижено влияние продольной фильтрации на теплозащитные свойства НФС.

V.G.Gagarin, V.V.Kozlov, K.I.Lushin, P.P.Pastushkov

ABOUT APPLICATION OF A WIND-HYDROPROTECTIVE MEMBRANES IN HINGED FACADE SYSTEMS WITH A VENTILATED LAYER

Keywords: *the hinged Facade systems, a ventilated air layer, a wind- hydroprotective membrane, emission of fibres from mineral wool, a filtration of air.*

Positive and negative sides of application of a wind-hydroprotective membranes in hinged facade systems basically from the view point of building thermophysics are analysed. Conditions are specified at which it is necessary to carry out installation of systems without wind-shelter membranes. In particular, significant emission of fibres should be excluded from mineral wool and influence of a filtration on heat-performance properties of system is lowered.

С.С. Галата, С.Е. Уханов, В.Г. Рябов, К.А. Сибиряков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ ИОННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

S.S. Galata, S.E. Ukhanov, V.G. Ryabov, K.A. Sibiryakov

DETERMINATION OF THE CRITICAL MICELLE CONCENTRATION IONIC SURFACTANTS IN AN ALKALINE MEDIUM

Ключевые слова: Меркаптаны, щелочная экстракция, ПАВ, критическая концентрация мицеллообразования.

В работе представлены результаты определения критической концентрации мицеллообразования ионного поверхностно-активного вещества в 10% мас. растворе щелочи NaOH статическим методом Вильгельми (метод пластинки).

Keywords: *Mercaptanes, alkaline extraction, surfactants, critical micelle concentration.*

This paper presents the results of the critical micelle concentration of ionic surfactant into 10 wt%. alkaline solution NaOH determination by static method by Wilhelmy (method of the plate).

П.Н. Герасимов, Я.И. Корнев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников

ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА

Ключевые слова: сверхширокополосный радиолокатор, биорадиолокация, цифровая обработка сигналов.

Рассмотрены задача оценки психофизиологического состояния человека по измерениям частот дыхания и сердечной деятельности человека при помощи сверхширокополосного радиолокатора. Описаны работа радиолокатора и процесс обработки его сигналов. По результатам экспериментальных измерений выделены основные проблемы обработки сигналов радиолокатора, предложены методы их решения.

P.N. Gerasimov, Y.I. Kornev, I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov

PROCESSING OF RADAR SIGNALS REFLECTED FROM THE HUMAN THORAX

Keywords: UWB radar, bioradiolocation, digital signal processing.

Considered the problem of estimation of a psychophysiological state of human by measurements of frequency of respiratory and cardiac activity using UWB radar. Radar and its signal processing are described. According to the results of experimental measurements identified the main problem of radar signal processing, methods of their solution.

В.В. Глебов, Ю.В. Присяжнюк, Л.А. Каплин

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

Ключевые слова: электрохимическая обработка (ЭХО), магнитные сплавы, шероховатость, точность.

Выполнен анализ прикладных и теоретических работ в области электрохимической размерной обработки деталей из магнитных сплавов. Приведены результаты экспериментальных исследований обработки магнитных сплавов этим методом. Обсуждаются перспективные направления исследований ЭХО деталей из магнитных сплавов

V.V. Glebov, Ju.V. Prisyazhnyuk, L.A. Kaplin

FEATURES OF ELECTROCHEMICAL MACHINING OF DETAILS FROM MAGNETIC ALLOYS

Keywords: electrochemical machining (ECM), magnetic alloys, roughness, accuracy

The analysis of applied and theoretical works in the field of electrochemical dimensional machining of details from magnetic alloys is made. Results of experimental researches of machining of magnetic alloys by this method are presented. Perspectiv directions of researches the ECM of details from magnetic alloys are discussed.

С.Н. Голышев, М.А. Донченко, С.Н. Ермаков

ВЛИЯНИЕ РАДИУСА ИЗГИБА ТРУБЫ ПОЛИМЕРНОЙ, АРМИРОВАННОЙ ПРОВОЛОЧНЫМИ ПОВИВАМИ, НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: скважинное оборудование, ингибитор, труба полимерно-армированная, радиус изгиба, прочность.

Рассматриваются методики проведения предварительных проектировочных расчетов и испытаний трубы полимерно-армированной. Основное внимание уделено вопросу влияния радиуса изгиба трубы полимерной, армированной проволочными повивами, на прочностные свойства при эксплуатации.

S.N. Golyshev, M.A. Donchenko, S.N. Ermakov

INFLUENCE OF THE RADIUS OF BEND OF THE POLYMER PIPE REINFORCED WITH WIRE PASSED ROUND IT UPON ITS STRENGTH PROPERTIES UNDER PRESSURE

Key words: downhole equipment, inhibitor, polymer-reinforced pipe, radius of the bend, strength.

The procedures for preliminary design calculations and method of testing a polymer- reinforced pipe are considered. Particular attention is paid to the influence of the radius of the bend of the polymer pipe reinforced with wire passed round it upon its strength properties under pressure.

А.Г. Гоньшаков, Н.Г. Гоньшаков, С.И. Рощина

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО ДИСКА ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ, ОБРАЗОВАННОЙ НА ОСНОВЕ ТИПОВОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РЕШЕТЧАТОЙ БАЛКИ

A.G. Gonshakov, N.G. Gonshakov, S.I. Roshchina

STUDY OF STRESS STATE DISK OPRNOGO LIGHTWEIGHT CONSTRUCION, FORMED ON THE MODEL FOR STRUCTURAL CONCERTE LATTICE GIRDER

Ключевые слова: Типовая решетчатая балка, облегченная балка, жесткий диск, касательные напряжения, главные напряжения.

В одноэтажных производственных зданиях стоимость покрытий составляет до 55% от общей стоимости зданий, поэтому разработка, исследование и применение новых конструктивных форм железобетонных балок покрытий является актуальной. В результате проведенных исследований было установлено, что длину опорных частей облегченной балки рекомендуется принимать 1/10 от пролета, что позволяет получить экономию бетона до 30% .

Keywords: Typical lattice beam, a light beam, a hard drive, shear stress, the principal stressess.

In single-story industrial buildings cost covers up to 55% of the total value of the buildings, so the development, research and application of new structural forms of reinforced concrete beams is a topical coating. The studies found that the length of the reference beam to facilitating recommended to take 1/10 of the span, which allows for economies of concrete up to 30%.

А.К. Дятлов, А.И. Харченко, М.И. Баженов, И.Я. Харченко

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

Ключевые слова: Композиционное вяжущее; тонкодисперсный гидравлически активный микронаполнитель; макро и микро структура бетонной смеси.

В данной статье освещаются результаты исследований различных свойств композиционного вяжущего. Влияние минералогического состава портландцемента на эффективность различных гиперпластификаторов. Также приводится теоретическое и экспериментальное обоснование формирования микро структуры бетонной смеси.

A.K. Dyatlov, A.I. Kharchenko, M.I. Bazhenov, I.Ja. Kharchenko

COMPOSITE BINDER FOR FINE SELF-COMPACTING CONCRETE

Keywords: Composite binding, finely divided hydraulic active mikronapolnitel, macro and micro structure concrete.

The results of scientific investigations of different properties of the composite binder and the influence of the mineralogical makeup of Portland cement on the effectiveness of different giperplastifikators are reported in this article. This article also provides a theoretical and experimental justification of formation of the micro structure of concrete mix.

А.И. Жигульская

РАСЧЁТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ МЕЛЬНИЦ И ИХ СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Ключевые слова: Дисковая мельница, гарнитура, энергоемкость, размол, пневая древесина торфяной залежи, оптимальные параметры.

Обоснование новых методов получения древесно-волокнистой связующей добавки из пневой древесины торфяной залежи связано с разработкой рекомендаций по выбору оптимальных параметров размольной гарнитуры и режимов работы технологического оборудования. Наиболее существенными элементами гарнитуры, влияющими на эффективность и снижение энергоемкости размола, являются: толщина ножей и ширина канавок между ними, углы наклона ножей к радиусу диска, наличие и расположение перегородок в канавках между ножами.

A.I. Zhigulsky

CALCULATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF DISK MILLS AND THEIR RELATIONSHIP WITH PROCESS PARAMETERS

Key words: disc mill, headset, power consumption, grinding, pneumatic wood peat deposits, the optimal parameters.

Justification of new techniques for wood-fiber bonding additive from pneumonia wood peat deposits linked to the development of recommendations for selecting optimal parameters of grinding set and the modes of production equipment. The most significant elements of the headset that affect efficiency and lower energy milling are: the thickness of the blade and the width of the grooves between them, the angles of knives to the radius of the disk, the presence and location of the walls in the grooves between the blades.

А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, И.С. Бурмистров, С.А. Оганесян, А.В. Лемешев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЦИОНАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ ТОРФЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: эколого-экономический фактор, рациональная и круглогодичная технология, комплексное использование ресурсов, модернизация, технологическое оборудование.

A.I. Zhigulsky, T.B. Yakonovskay, I.S. Burmistrov, S.A. Oganesyn, A.V. Lemeshev

ECOLOGICAL, TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC APPROACH TO RATIONAL DEVELOPMENT OF PEAT PRODUCTION

Technological schemes of peat deposits and repair the fields of production, including operation reports of shrubs and low forests, grubbing and removal of the stump of the continuous milling of a deep reservoir are

Технологические схемы разработки торфяных месторождений и ремонта полей добычи, включающие операции сводки кустарников и мелколесья, корчевки и вывозки пня, сплошного глубокого фрезерования залежи рассмотрены с учетом эколого-экономического фактора и предлагаемых вариантов рационального и комплексного использования ресурсов торфяной залежи, усовершенствования и модернизации используемого оборудования.

presented and discussed in the light of the proposed options for integrated resource use peat deposits, improvement and modernization of equipment used.

А.И. Залеснов, Е.Н. Петухов

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ТОЧЕНИЯ И СОСТАВА МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Ключевые слова: металломатричные композиционные материалы (ММК); обработка; шероховатость поверхности.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов точения ММК, армированных частицами SiC размерами 40 нм – 40 мкм и концентрацией 5 – 10%, на шероховатость обработанной поверхности.

A.I. Zalesnov, E.N. Petukhov

INFLUENCE OF MODES DIAMOND TURNING AND STRUCTURE METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS ON QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF THE SUPERFICIAL LAYER

Keywords: metal matrix composites (MMCs); machinability; surface roughness

In work results of experimental researches of influence of modes точения MMCs, reinforced by particles SiC in the sizes of 40 nanometers - 40 microns and concentration 5 - 10 %, on a roughness of the processed surface are presented.

Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Е. Мироненко

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: сезонные условия, прогнозирование энергопотребления, нормирование электрической энергии, автотранспортное предприятие.

В работе рассматривается методика получения данных о влиянии сезонных условий на потребление электрической энергии приемниками зоны ТО и Р с целью дальнейшего их использования в расчетах прогнозирования затрат и определении норм расхода электроэнергии для автотранспортного предприятия.

N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, A.E. Mironenko

SEASONAL CONDITIONS IMPACT ON ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION UNDER SERVICE MAINTENANCE AND VEHICLES REPAIR

Keywords: seasonal conditions, forecasting of energy consumption, rationing of electricity, road transport company.

This article describes a technique of obtaining data about the effect of seasonal conditions on the consumption of electric power equipment of repair and maintenance areas to be used in prediction use and determining the norms for consumption of electricity for the road transport company.

Ф.Н. Захаров, В.П. Валуйских

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРОЧНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ключевые слова: железобетонные водопропускные трубы, арочные водопропускные трубы, полуэллиптические, полукольцевые, гидравлические параметры водопропускных труб, расход водопропускных труб.

Определены и проанализированы гидравлические параметры запатентованной инновационной конструкции арочной водопропускной трубы, оценена эффективность её применения при расчётном расходе для равнинных условий работы.

F.N. Zakharov, V.P. Valuiskikh

HYDRAULIC CHARACTERISTICS ARCHED CULVERTS

Key words: concrete culverts, semielliptical, semicircular, hydraulic parameters culverts, flow culverts.

Identify and analyze hydraulic parameters patented innovative design arched culvert, evaluated the efficacy of its use in the design flow for the flat conditions.

В.Н. Иванов, Л.В. Лобачева, В.В. Кундряков

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОДЗЕМНОМ ПОТОКЕ ОТ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: моделирование, миграция, фильтрация, сорбция, полигон твердых бытовых отходов (ТБО).

V.N. Ivanov, L.V. Lobacheva, V.V. Kundrjakov

THE MODELING OF THE PREVALENCE OF POLLUTION IN UNDERGROUND FLOW FROM SCRAP LOCATION

Keywords: modeling, migration, filtering, sorption, scrap location.

Приведены результаты моделирования процессов миграции загрязняющих веществ от полигона твердых бытовых отходов в грунтовые воды. Установлена динамика распределения загрязнений в толще объекта исследования до озера. Сделан прогноз распространения загрязнений от полигона в поверхностных водах озера Селигер.

The results of modeling of processes of migration of polluting chemical substances from the areas of scrap location into the subsoil waters are presented. The dynamics of penetration of contaminating substances into the soit of the examined areas around the lake are ascertained. The forecast of contamination dynamics deriving from the subsoil waters of Seliger lake.

А.М. Игнатова

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И СИЛИКАТНОЙ ФАЗ РАСПЛАВА ПРИ УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И НЕРУДНОГО СЫРЬЯ

Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, ликвация, дифференциация, расслоение, силикатный расплав

В статье изложены основные химические реакции и последовательность физико-химических процессов предшествующих расслоению минерального расплава на металлическую и силикатные фазы.

A.M. Ignatova

FORMATION OF METAL AND SEPARATION AND SILICATE PHASES MELT SURFACE DURING A REDUCING MELTING TECHNOGENIC METALLURGICAL AND NON-METALLIC MINERALS

Keywords: Petrurgiya, stone molding, phase separation, differentiation, stratification, silicate melt/

The article describes the basic chemical reactions and the sequence of physical and chemical processes of the previous bundle mineral melt the metal and silicate phases.

И.Я. Имморeев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЖИВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФОНЕ ОТРАЖЕНИЙ ОТ МЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ

Ключевые слова: СШП, биорадиолокация, цифровая обработка сигналов.

Рассмотрены особенности создания СШП радиолокаторов, предназначенных для обнаружения живых объектов на фоне местных предметов и сквозь них. Основными сложностями построения таких систем являются проблемы энергетики передатчика, большого динамического диапазона приемника, а также появление ложных целей за счет модуляции подвижным объектом сигналов, отраженных от местных предметов.

Предложен новый метод обнаружения подвижного объекта, основанный на корреляции сигналов, отраженных от цели и модулированных целью сигналов, переотраженных от местных предметов. Приведены результаты экспериментов, полученные с помощью радиолокатора для обнаружения людей за непрозрачными препятствиями.

I.Y. Immoreev, I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov

RADAR DETECTION OF LIVING OBJECTS

Keywords: UWB, bioradiolocation, digital signal processing.

The most practical use of short-pulse UWB radar is the observation of relatively slow-moving targets at distances of units and tens of meters. Such devices are relatively low-powered Doppler radar that can observe the moving objects with high accuracy. The extensive development of UWB radar systems have received in the monitoring of live objects, the so-called bioradiolocation.

Ability to detect people at distances of tens of meters helped the emergence of systems of protection of the territory, and portable devices for detecting people through optically opaque barriers. The ability of radar systems to monitor a non-transparent objects makes them invisible to the human eye, and a broad band of the probe signal to hide them from the other detection systems. The high sensitivity of these systems can detect not only the coming of man, but still, detecting the movement of his chest caused by breathing.

This report examines characteristics of UWB radar system designed to detection the live objects, as well as a new method for detecting a moving object against a background of great Clutter.

А.И. Иноземцев, Е.В. Королев

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Ключевые слова: высокопрочный легкий бетон, экономическая эффективность, энергоэффективный бетон.

В работе представлено экономическое обоснование внедрения разработанных высокопрочных легких бетонов для производства несущих изделий и

A.S. Inozemtsev, E.V. Korolev

ECONOMIC PREREQUISITES FOR APPLICATIONS OF HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE

Keywords: high-strength lightweight concrete, economic efficiency, energy efficient concrete

The economic substantiation of usage of high-strength lightweight concrete for industrial and civil construction is presented in the work. Brief review of the world practices in the design and application of lightweight concrete with high strength is given. The primary

конструкций для промышленного и гражданского строительства. Приведен краткий обзор мировой практики по разработке и применению составов прочных легких бетонов. Отражены основные свойства и преимущества предлагаемых энергоэффективных высокопрочных легких бетонов по отношению к тяжелым и легким бетонам. Предложена методика расчета экономической эффективности бетона исходя из возможности снижения общего веса конструкции и увеличения этажности на примере многоэтажного жилого здания. Представлены зависимости изменения экономической эффективности от площади основания здания и его этажности по предложенной методике. Показана возможность оптимизации расхода арматурной стали и бетона при использовании высокопрочного легкого бетона. Дополнительный экономический эффект достигается благодаря меньшим показателям коэффициента теплопроводности, а также уменьшением затрат при эксплуатации здания. Описанные методики расчета экономической эффективности, основанные на учете основных показателей качества научных разработок, позволяет проводить обоснования для внедрения новых строительных материалов, сырьевые компоненты которых имеют узкую специфику использования. Обозначенный подход позволяет сделать вывод о том, что прямой расчет стоимости разработанного материала по себестоимости не обеспечивает объективными данными о перспективности разработки и ее производственной конкурентоспособности.

advantages of the proposed energy efficient high-strength lightweight concretes, together with comparison with traditional concretes are summarized. Both the method of calculation of the economic efficiency based on the possibility to reduce the overall weight of the structure and to increase the buildings' height, and the example of application of this method (taking into account area of the ground and amount of reinforcing steel) are presented. It is shown that amounts of reinforcing steel and concrete can be optimized; in addition, the extra effect caused by low thermal conductivity of the designed lightweight concrete. With the developed calculation methods it is possible to justify the application of specific raw materials during the production of concrete despite the fact that such raw materials are often of high price.

М.Ю. Казаков, М.С. Гринкруг, Ю.И. Ткачева

ВЫБОР МОЩНОСТЕЙ КОТЛОВ НА КОТЕЛЬНОЙ ИЗ УСЛОВИЯ МИНИМИЗАЦИИ ГОДОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА

Ключевые слова: котельная, котел, расход топлива, удельный расход топлива, режимы работы.

В статье описан алгоритм решения задачи выбора котлов на водогрейных котельных при проектировании и определения режимов их работы с целью минимизации годового расхода топлива. Представлены и проанализированы результаты расчетов по описанному алгоритму.

M.J. Kazakov, M.S. Grinkrug, J.I. Tkacheva

CHOICE OF CAPACITIES OF BOILER ON THE BOILER ROOM FROM THE CONDITION OF MINIMIZATION OF ANNUAL FUEL CONSUMPTION

Keywords: boiler room, boiler, fuel consumption, specific fuel consumption, operating modes

In article the algorithm of the solution of a problem of a choice of boiler on water-heating boiler rooms is described at design and definitions of modes of their work for the purpose of minimization of annual fuel consumption. Results of calculations on the described algorithm are presented and analysed.

В.В. Ковригина, М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ СИСТЕМЫ С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОНСОЛЬНЫМ СТЕРЖНЕМ НА ТОРСИОННЫЕ ВИБРАЦИИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ

Ключевые слова: гидростанции, электрические машины, виброактивное оборудование, вращение, динамические нагрузки, механизм волнового переноса, момент импульса, закон сохранения.

На базе закона сохранения момента импульса анализируются риски возбуждения экстремальных амплитуд реакции системы на резонансных частотах вращающегося стержня. В статье проводится сравнительный анализ понятийного аппарата постановки аналогичных динамических задач в

V.V. Kovrigina, M.S. Hlystunov, Z.G. Mogiljuk

THE ROTATING CONSOLE REACTION RESEARCH ON AN ROTATION AXIS TORSION VIBRATIONS

Keywords: hydrostations, electric cars, equipment, rotation, dynamic loadings, wave carrying mechanism, acoustic energy, impulse moment, preservation law

On the impulse moment preservation law basis are analyzed risks of system reaction extreme amplitudes excitation on a rotating rod resonant frequencies. In article is carried the similar dynamic problems statement conceptual apparatus comparative analysis in related subjects on an example of the rotating console wave reaction on rotation axis vibration.

смежных дисциплинах на примере волновой реакции вращающегося консольного стержня на вибрации его оси вращения.

А.В. Колесников

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Ключевые слова: Сейсмостойкость, землетрясения, расчет, нелинейность, акселерограмма, здание, динамика, масса, диссипация, жесткость, деформация, численные методы.

Предложен оптимальный алгоритм регуляризации задачи идентификации динамических систем. Проведен сравнительный анализ различных методов на примере восстановления известной импульсной переходной функции.

A.V. Kolesnikov

IDENTIFICATION OF CALCULATION OF DYNAMIC PARAMETERS OF BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE OF STRONG EARTHQUAKES

Key words: Seismic, Earthquake, calculation, non-linearity, accelerogram, the building, the dynamics of the mass, dissipation, stiffness, deformation, numerical methods.

The author examines the accounting for the physical nonlinearity in structures under seismic actions. With specific examples showing the relevance of such studies and review of existing design standards to seismically hazardous areas.

Л.А. Корякин

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: автоматизированные промышленные системы, типовые бизнес-процессы, архитектура системы управления предприятием, интеграция.

В данной статье описан подход к разработке архитектуры интегрированной системы управления машиностроительного предприятия на базе современных унифицированных программных платформ класса ERP-систем.

L.A. Koryakin

APPROACH TO THE DESIGN FOR ENTERPRISE ARCHITECTURES OF INTEGRATED SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

Keywords: Industrial automation systems, business processes, enterprise-control system integration.

This article describes approach to the design for enterprise architectures of integrated systems for industrial enterprises based on the modern standardized software platforms (ERP-systems).

Ю.Ю. Костаков, Э.Н. Безматерных, В.Г. Рябов, А.В. Кудинов

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЭМУЛЬГАТОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ НА УПСВ «ПАШНЯ»

Ключевые слова: деэмульгатор, обезвоживание нефти, нефтяная эмульсия.

Приведены результаты исследований по определению эффективности ряда деэмульгаторов на искусственной эмульсии Пашнинского месторождения. Предложено использовать вместо базового реагента СНПХ 4315Д5 более эффективный деэмульгатор ФЛЭК-Д-007. Определены оптимальные технологические параметры для обезвоживания нефти на УПСВ «Пашня»

Y.Y. Kostakov, E.H. Bezmaternyh, V.G. Ryabov, A.V. Kudinov

COMPARISON OF DEMULSIFIER EFFECTIVENESS AND DETERMINATION OF OPTIMAL CONDITIONS FOR OIL DEWATERING IN UPSV “PASHNY”

Keywords: demulsifier, oil dewatering, oil emulsion.

Paper presents results of determination of the different demulsifiers effectiveness on artificial emulsion in “Pashny” oil field. The use of more effective demulsifier FLEK-D-007 is proposed instead of basic reagent SNPH 4315D5. The optimal process parameters for oil dewatering unit "Pashny" is determined.

С.В. Лановецкий

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ ОТ ПРИМЕСЕЙ

Ключевые слова: раствор нитрата магния, примеси, сульфаты, хлориды, кальций.

Проведены исследования по очистке технического раствора нитрата магния от сопутствующих примесей SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}. Определены оптимальные

S.V. Lanovetskiy

STUDY METHODS OF TREATMENT THE MAGNESIUM NITRATE TECHNICAL SOLUTION FROM IMPURITIES

Key words: magnesium nitrate solution, impurities, sulphate, chlorides, calcium.

The study of purification magnesium nitrate technical solution from impurity SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+} has been carried out. The optimum conditions of the process allows for

условия проведения процесса, позволяющие получить очищенный раствор пригодный для использования в производстве кристаллического продукта реактивной чистоты.

clear solution suitable for use in the production of reactive purity crystalline product has been determined.

С.А. Миронова, О.К. Косвинцев

ВЛИЯНИЕ СТАДИИ РУДОПОДГОТОВКИ НА ПРОЦЕСС ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ РУДЫ

Ключевые слова: хлорид калия, извлечение, водонерастворимый остаток, рудоподготовка, флотация.

Исследована зависимость содержания хлорида калия, нерастворимого остатка в концентрате и извлечения полезного компонента в готовый продукт при различном способе измельчения руды Верхнекамского месторождения. Показана эффективность сухой рудоподготовки для шламовой и сильвиновой флотации.

S.A. Mironova, O.K. Kosvintsev

INFLUENCE OF ORE PREPARATION STAGE ON SYLVINITE ORES CONCENTRATION

Key words: potassium chloride, extraction, water-insoluble residue, ore preparation, flotation.

The dependence of potassium chloride factor, concentrate insoluble residue and extract usable component in a finished product with different modes of ore grinding the ore deposits of Verkhnekamskoye has been studied. The effectiveness of dry ore preparation for slurry and sylvinite flotation has been shown.

О.С. Мисников, О.В. Пухова, С.С. Цымлякова

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ОСУШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ключевые слова: торф, осушительная сеть, потенциал влаги, влажность, осушение.

Рассмотрены гидротехнические мероприятия и элементы осушительной сети торфяного месторождения. На основании исследования передвижения влаги торфяной залежи, распределения значений потенциала влаги разработаны мероприятиям по улучшения осушения производственных площадей при разработке торфяного месторождения

O.S. Misnikov, O.W. Pukhova, S.S. Zimljakova

METHODS OF PEATLAND DRAINAGE IMPROVING IN PEAT DEPOSITS DEVELOPMENT

Key words: peat, drying system, moisture potential, humidity, drainage

Hydrotechnical methods and elements of peat land drainage system are considered. Based on studies of moisture movement in peat deposits and moisture capacity distribution the methods of peatland drainage improving in the peat deposits development were created.

Н.В. Митрохов, С. Грисхаммер

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ В КАНАЛЕ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОТОЧНЫХ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: ANSYS, численное моделирование, адекватность моделирования, ПВРД.

В статье рассматривается применение современного программного комплекса ANSYS для численного расчета газодинамических течений. Представлены результаты численного моделирования трехмерного турбулентного течения в начальной части камеры сгорания ПВРД и сравнение их с экспериментальными данными. Рассмотрен вопрос проверки адекватности моделирования в хорошо контролируемых лабораторных условиях.

N. Mitrokhov, S. Griesshammer

NUMERICAL SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL FLOW IN THE CHANNEL STAND FOR RESEARCH RAMJET

Keywords: ANSYS, numerical simulation, modeling adequacy, ramjet.

The article is devoted to the application of modern software package ANSYS for numerical simulation of gasdynamic flows. The results of numerical simulation of three-dimensional turbulent flow in the initial part of the ramjet combustion chamber and a comparison with experimental data. The question of the adequacy of modeling in a well-controlled laboratory conditions is considered.

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов

АКУСТИЧЕСКИЕ ИМПЕДАНСЫ СТЕРЖНЕЙ В МНОГОЗВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Ключевые слова: стержневые конструкции, динамические нагрузки, удельный акустический импеданс, эквивалентные электрические схемы, акустическая энергия, распределение, закономерности.

J.G. Mogiljuk, M.S. Hlystunov

RODS ACOUSTIC IMPEDANCES IN ITERATIVE DESIGNS

Keywords: rod designs, dynamic loadings, specific acoustic impedance, equivalent electric schemes, acoustic energy, distribution, law.

В статье на базе эквивалентных электрических схем исследуются закономерности распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных стержневых конструкциях в зависимости от удельного акустического импеданса материала стержней.

In article on the equivalent electric schemes basis is investigated dynamic loadings energy distribution laws in linear rod designs depending on a rods material specific acoustic impedance.

В.В. Настека, А.Ф. Коренякин, Н.Ф. Низамов, Е.Ю. Чирков, В.М. Кушнаренко

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРПУСОВ ФОНТАННОЙ АРМАТУРЫ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

Ключевые слова: фонтанная арматура, ремонт, наплавка, сероводород.

В статье рассматривается возможная технология восстановления корпусных элементов фонтанной арматуры, длительно эксплуатируемой на сероводородсодержащих месторождениях. Приведены результаты исследования отремонтированных опытных образцов фонтанной арматуры.

V.V. Nasteka, A.F. Korenjakin, N.F. Nizamov, E.J. Chirkov, V.M. Kushnarenko

RESTORATION OF GUSHING ARMATURE'S CASES AFTER OPERATION IN HYDROGEN SULPHIDE ENVIRONMENTS

Keywords: gushing armature, repair, facing, hydrogen sulphide.

In article the possible technology of restoration of gushing armature's cases is considered. Research's results of the repaired pre-production models of gushing armature are resulted.

М.В. Овечкин, В.Н. Шерстобитова, Д.А. Проскурин

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СРЕДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Ключевые слова: контроль качества, рентгенография, технологический процесс, неразрушающий контроль.

В работе представлены результаты изучения методов контроля качества продукции на производстве, в частности рентгенографических методов контроля сварных соединений. Результаты представлены при помощи нотаций IDEF0, предложены пути повышения эффективности рентгенографических методов за счет создания подсистемы автоматизированного контроля качества.

M.V. Ovechkin, V.N. Sherstobitova, D.A. Proskyrin

RADIOGRAPHIC METHOD AMONG AUTOMATED QUALITY CONTROL AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Keywords: quality control, X-ray, workflow, nondestructive testing.

The paper presents the results of the study of methods of quality control in production, in particular X-ray methods of weld joints. The results are presented with notations IDEF0, suggested ways to improve the methods of X-ray through the creation of automated quality control subsystem.

А.А. Орлов

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ КОНТУРНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Ключевые слова: станки с ЧПУ, концевое фрезерование контуров, режимы резания.

В работе представлена методика управления режимами резания при фрезеровании контуров на станках с ЧПУ. В частности, описывается методика определения подачи, обеспечивающая заданную точность.

A.A. Orlov

CALCULATION METHOD FOR CONTOUR CUTTING ON CNC MILLING

Keywords: CNC machines, end milling paths, cutting data.

The article presents the method of control of the cutting contour milling on the CNC. In particular, describes the method of determining feed that provides a specified accuracy.

С.В. Поршнев, Д.А. Якоб

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬНО-ПРОПУСКНОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ С МАССОВЫМИ ПОТОКАМИ ПОСЕТИТЕЛЕЙ

Ключевые слова: контрольно-пропускная система, моделирование, IDEF.

В работе описана иерархическая модель информационной контрольно-пропускной системы (ИКПС), разработанная на основе семейства методологий IDEF0 и IDEF3 в виде диаграмм.

S.V. Porshnev, D.A. Yakob

INFORMATION MODEL OF ACCESS CONTROL SYSTEM OF OBJECTS WITH MASS FLOWS OF VISITORS

Keywords: access control system, modeling, IDEF.

In this paper is considered the hierarchical model describing the functioning of the automated access control system, developed on the basis of IDEF0 and IDEF3 methodologies in the form of diagrams.

Е.В. Пояркова, В.И. Полухина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ И РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: промысловые нефтегазопроводы, повреждаемость металла, коррозионно-механические испытания, потеря пластичности.

В работе представлены результаты коррозионно-механических испытаний фрагментов нефтепроводов и сегментов нижнего пояса резервуара, позволившие установить основные закономерности влияния сероводорода на коррозионные процессы и эксплуатационные характеристики исследуемых конструкционных элементов.

E.V. Poyarkova, V.I. Polukhina

THE DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF THE METAL CONSTRUCTIONAL ELEMENTS OF PIPELINES AND TANKS FOR ESTIMATION OF THEIR SAFE OPERATION

Keywords: industrial oil and gas pipelines, damageability of metal, corrosion and mechanical testing, the loss of ductility.

The results of corrosion-mechanical tests of fragments of pipelines and segments of the lower zone of the reservoir which make possible to establish the basic laws of the influence of sulphuretted hydrogen on corrosion processes and operational characteristics of studied structural elements were presented in this work.

К.В. Рочев

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ В СИСТЕМЕ СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДОВОГО КОЛЛЕКТИВА

Ключевые слова: проверка знаний, тестирование, стимулирование труда, математическая модель, границы классов.

Данная статья посвящена методике разделения сотрудников и студентов вуза на непересекающиеся классы, расположенные по возрастанию измеряемого латентного качества (знание, умение, интеллект и т.п.). Границы классов определяются, исходя из заданной допустимой «доли брака» в каждом классе, то есть доли испытуемых, попадающих в более высокий класс исключительно за счет угадывания правильного ответа в задании (речь идет о тестах закрытого типа).

K.V. Rochev

METHODS OF ASSESSMENT OF KNOWLEDGE IN INCENTIVE SYSTEM OF THE PERSONNEL

Keywords: knowledge assessment, testing, mathematical model, the boundaries of classes

This article is devoted to the method of separation of staff and students of the university into disjoint classes, arranged in increasing the quality of the measured latency (knowledge, skill, intelligence, etc.). The boundaries of the classes are defined on the basis of predetermined acceptable "discard rate" in each class, that is, the proportion of subjects that fall into a higher class solely by guessing the correct answer in the job (it is a closed-end tests).

И.В. Рубцов, М.С. Савин

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО МЕТОДА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ

Ключевые слова: Геодезический мониторинг, протяженный объект, видеорегистрация данных.

Строительная отрасль неотъемлемо связана с прогрессом. Разработки современных инструментальных методов мониторинга основаны на переосмыслении классических подходов с применением современных технологий. Использование оптико-цифровых регистраторов в задачах строительного мониторинга расширяет и значительно упрощает решение частных задач организации наблюдения за протяженным объектом. Примером работы системы регистрации данных может служить экспериментальный стенд «Протяженный объект» в центре мониторинга МГСУ, на основе которого создается современный метод геодезического мониторинга протяженных объектов.

I.V. Rubtsov, M.S. Savin

DEVELOPMENT OF MODERN METHOD OF GEODESIC MONITORING OF EXTENDED OBJECTS BASED ON SISTEMS OF DATA VIDEO RECORDING

Key words: geodesic monitoring, extended object, video recording of data.

The construction industry is inherently linked with the progress. Development of modern instrumental methods of monitoring based on the reinterpretation of the classical approaches to the use of modern technology. The use of optical-digital recorders to monitor the tasks of building expands and simplifies the solution of particular problems of monitoring activities for an extended object. An example of the data acquisition system can serve as an experimental stand "extended object" in the monitoring center MSSU, on which to create a modern method of geodetic monitoring of extended objects.

П.О. Румянцев, А.Ф. Емельянов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СОСТАВА ПСМ-2 ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

Ключевые слова: высокоэнергетический материал, механическая обработка, резание, твердосплавный инструмент, температура резания.

В Снежинском физико-техническом институте НИЯУ «МИФИ» проводятся научные исследования механической обработки высокоэнергетических материалов в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Предметом исследований является построение математической модели, описывающей изменение температуры в зоне резания при механической обработке имитатора высокоэнергетического материала – состава ПСМ-2, твердосплавным режущим инструментом в виде неперетачиваемой режущей пластины (РП). Данная работа предполагает кроме большой экспериментальной составляющей создание математической модели, которая позволяла бы оценивать температуру в зоне резания для возможно более широкого диапазона основных параметров процесса резания, так как именно температура является критерием безопасности при работе с данными материалами.

P.O. Rumyantsev, A.F. Emelyanov

CUTTING ZONE TEMPERATURE MATHEMATIC SIMULATION WHILE MECHANICALLY TREATING PSM-2 COMPOSITION BY HARD-PLACE CUTTER PLATES

Snezhinsk Physical Technical Institute, the branch of National Research Nuclear University "MEPhI" is carrying out scientific investigations of high-powered material machining processing under the program "Scientific and pedagogical work force of innovative Russia". The subject of study is mathematical model making which describes temperature change in a cutting zone while a high-powered material simulator (PSM-2 composition) is mechanically processed by a hard-place cutter in the shape of a disposable tip (CP). Besides presenting much experimental data the research presupposes mathematical model creation which would allow to evaluate the temperature in a cutting zone for enlarging the range of cutting process parameters for it is the temperature that is the safety criterion while working with these materials.

П.О. Румянцев, А.Ф. Емельянов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: высокоэнергетический материал, механическая обработка, резание, твердосплавный инструмент, температура резания, моделирование температуры.

Выполнено компьютерное моделирование процесса токарной обработки твердосплавными пластинами заготовок из полимерного материала. Проведён анализ результатов компьютерного моделирования и результатов экспериментальных исследований температуры в зоне резания.

P.O. Rumyantsev, A.F. Emelyanov

COMPUTER SIMULATION OF THE TURNING PROCESSING OF EXPLOSIVE MATERIALS BY FINETE ELEMENTS METHODE

Computer simulation of the turning processing of polymer pieces with the help of inserts is carried out. The analysis of the computer simulation results and the results of temperature measurements in the cutting zone is presented.

Ю.Х. Сагитов

ФОРМУЛА РЫКАЛИНА Н.Н. ДЛЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА ОТ ПОДВИЖНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

Ключевые слова: формула Рыкалина для температуры, подвижный точечный источник тепла, несобственный интеграл, «свёртка» формулы Рыкалина.

В данной статье формула температуры в избранных точках исследуемого тела, которая задаётся подвижным точечным источником тепла, принимает компактный вид, что позволяет при необходимости применить очевидные методы её анализа; определяются ограничения на применимость предложенного метода, а также выявляются причины их возникновения.

Yu.Kh. Sagitov

FORMULA RYKALIN N.N. FOR STEADY DISTRIBUTION OF HEAT FROM MOBILE POINT SOURCE

Keywords: Rykalina formula for temperature, moving a point source of heat, improper integral, "contraction" of the formula Rykalina.

In this paper, the formula of temperature at some points of the body being studied, defined by moving a point source of heat, takes a compact form, which allows to apply the obvious methods of analysis, imposing limitations on the applicability of the proposed method, and identify their causes.

И.М. Селянцев

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

Ключевые слова: ЛСТК, чистое кручение, стеснённое кручение.

Представлены результаты численного исследования влияния деформирования контура поперечного сечения на работу тонкостенных стержней открытого профиля. Даны экспериментальные результаты моментов инерции на чистое кручение для указанных стержней. Оценена погрешность определения углов поворота стержней с недеформируемым контуром (теория Власова В.З.) при различных условиях закрепления концов стержня.. Определён диапазон стержней $kl = \sqrt{\frac{G\,Jt}{E\,Jw}}\,l$ *, в котором не учёт факта деформации контура поперечного сечения стержня, приводит к допустимой, с инженерной точки зрения, погрешности вычисления углов поворота сечения стержня.*

I.M. Selyantsev

NUMERICAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CROSS-SECTION SHAPE CHANGING ON WORK OF THIN WALLED COLD-FORMED STEEL BEAM

Keywords: cold formed beams, uniform torsion, warp torsion.

This report presents the numerical warp torsion experiment results. Thin walled C section beams were analyzed. Experimental results of thin-walled open section torsion constant Jt are given. Impact of beam cross section deformation on beam torsion angles was analyzed. Estimated difference between Vlasov's theoretical warp torsion angles and experimental results. Different types of beam fastenings were evaluated. Practical range $kl = \sqrt{\frac{G\,Jt}{E\,Jw}}\,l$ *(Jt - torsion rigidity, Jw - warping rigidity) where difference between theoretical and experimental results is acceptable is defined.*

А.В. Семенова

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: социальное здоровье, интегральный показатель эффективность трудовой деятельности, факторная модель.

В работе представлены результаты изучения формирования универсального алгоритма оценки взаимосвязи между показателем социального здоровья и показателями трудовой деятельности. Разработан алгоритм оценки показателя эффективности трудовой деятельности на основе субъективных оценок.

A.V. Semenova

THE ALGORITHM FOR GENERATING A COMBINED INDICATOR WORK MATHEMATICAL MODELING METHOD

Key words: social health, integrated indicator of the effectiveness of labor, factor model.

The paper presents the results of the study the formation of a universal algorithm for assessing the relationship between the index of social health and work performance. Razrabon algorithm for estimating the effectiveness of work based on subjective assessments.

С.Н. Скобелева

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОПРИЁМА В СИСТЕМАХ С УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Ключевые слова: супергетеродинный способ, эффективность использования частотного диапазона, электромагнитная совместимость, качество приема и воспроизведения информации.

В статье исследуются проблемные вопросы радиоприёма в системах с угловой модуляцией: электромагнитная совместимость различных диапазонов; эффективное использование частотных диапазонов; повышение качества приема и воспроизведения информации в системах с угловой модуляцией.

S.N. Skobeleva

PROBLEMATIC QUESTIONS IN THE RANGE OF FM

Keywords: superheterodyne method of receiving and processing of signals, the effectiveness of the use of the frequency range, electromagnetic compatibility, the quality of the reception and reproduction of information.

The article deals with the problematic issues in a range of FM: electromagnetic compatibility of different ranges, and in particular, the band FM and TV; efficient use of the FM; improving the quality of reception and reproduction of information in the range of FM.

О.О. Соколова, Н.А. Труфанов

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ СЛИТКА НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Ключевые слова: численное моделирование, кристаллизация слитка, усадочная пористость, конструкция.

O.O. Sokolova, N.A. Trufanov

NUMERICAL INVESTIGATION INFLUENCE OF INGOT'S DESIGN ON SOLIDIFICATION PROCESS

Keywords: numerical simulation, ingot solidification, shrinkage porosity, design.

Построена и численно реализована математическая модель процесса изготовления стального слитка. Численное решение верифицировано с помощью экспериментальных данных. Изучено влияние основных конструкционных параметров слитка, таких как отношение высоты к среднему приведенному диаметру и конусность, на макроструктуру.

The technology of steel ingot production is simulated. Numerical solution is verified by the experimental data. The influence of the main constructive characteristics such as slenderness ratio and mould slope on ingot macrostructure is determined.

А.М. Станкевич, О.А. Суворова

ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: Техническое обслуживание и ремонт, типовые бизнес-процессы, эксплуатационная документация.

В данной статье содержится описание типовой структуры процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники (АТ). Типовая структура процессов сформирована с учётом стандартов/требований, распространяемых на эксплуатацию АТ.

A.M. Stankevich, O.A. Suvorova

GENERIC STRUCTURE OF MAINTENANCE, REPAIR AND OVERHAUL BUSINESS-PROCESSES

Keywords: Maintenance, repair and overhaul (MRO), generic structure, business processes, technical publications.

This article describes generic structure of business-processes for maintenance repair and overhaul (MRO) of aviation products (aircrafts, engines, APU's). The generic structure was developed with taking into account standards and requirements of manufacturers, federal aviation administration and international air transport associations.

А.С. Сысоев

ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

Ключевые слова: численный алгоритм, оптимизация, транспортная задержка, регулируемый перекресток.

В работе рассмотрена проблема оптимизации цикла светофорного регулирования на пересечении городских улиц. Приведены подходы к решению данной задачи, а также предложен авторский алгоритм минимизации функции транспортной задержки. Работа поддержана Европейским Союзом в рамках программы Erasmus Mundus Action 2.

A.S. Sysoev

NUMERICAL ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF TRANSPORT DELAY FUNCTION ON REGULATED INTERSECTION

Keywords: numerical algorithm, optimization, transport delay, regulated intersection.

The optimization problem of traffic light cycle time on regulated intersection is under consideration. The paper shows different approaches of solution of this problem. Also the original minimization algorithm of transport delay function is given. Supported by the Erasmus Mundus Action 2 Programme of the Europian Union.

А.Г. Тамразян, О.В. Мкртычев, В.Б. Дорожинский

РАСЧЕТ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА АВАРИЙНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

Ключевые слова: железобетонные конструкции, большепролетные металлические конструкции, напряженно-деформированное состояние (НДС), прочностные расчеты, прогрессирующее обрушение, динамика.

В статье рассмотрены подходы к интегрированию уравнений движения систем, которые могут использоваться при расчете конструкций на аварийные воздействия. Кратко описаны основные этапы и результаты расчетов несущих конструкций Многофункциональной крытой арены Футбольного стадиона «Спартак».

A.G. Tamrazian, O.V. Mkrtychev, V.B. Dorozhinskiy

LARGE-SPAN STRUCTURES CALCULATION AT EMERGENCY LOADS USING NONLINEAR DYNAMICS METHODS

Keywords: concrete structures, steel structures, sports building, stress-strain state (SSS), strength calculations, collapse, dynamics.

The paper outlines the key steps and calculations of Multifunctional Indoor Arena football stadium «Spartak» structures, made by NTC "RiBoS" MGSU in 2012. Supporting building structures are reinforced concrete frame stands, consisting of columns, walls, beams, slabs and steel roof constructions.
Roof constructions are designed as a discrete plate consisting of rafter and link frames. The maximum span of the roof is 104,35 m. Frames designed from welded sections of I-section. Steel roof stiffness and geometric invariability provides by spatial operation of the frames, horizontal ties on the top and bottom flanges and profiled decking and stiffness of reinforced concrete pylons.

А.Р. Туснин

РАСЧЕТ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ КРУТЯЩИХ НАГРУЗОК

Ключевые слова: балка, крутящий момент, устойчивость.

При стеснённом кручении балок в дополнение к нормальным напряжениям от изгиба в них возникают секториальные напряжения. В статье приводится инженерная методика расчёта балок с учётом их стеснённого кручения. Методика разработана с использованием многовариантных численных расчётов.

A.R. Tusnin

CALCULATION OF I-BEAMS EXPOSED TO LOAD TORQUE

Keywords: beam, torque, stability.

When constrained torsion beams in addition to the normal stresses of bending them arise sectorial voltage. This article provides an engineering method for the analysis of beams with their restrained torsion. The method was developed using multivariate numerical calculations.

А.Г. Уймин, В.И. Суханов

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: облачные вычисления, база данных, моделирование месторождения и карьера.

В работе представлены результаты разработки современной отечественной ГГИС на базе открытого программного обеспечения. За основу ГГИС взята распределенная архитектура приложения, что позволяет обеспечить хранение геометрии рудных тел и элементов карьера в базе данных. Для работы с приложением через web использован картографический сервер GeoServer; качестве геометрического ядра – ядро OpenCASCADE. Проведен сравнительный анализ облачных хранилищ.

A.G. Uymin, V.I. Sukhanov

CLOUD COMPUTING TECHNOLOGY FOR MAIN-GELOGICAL INFORMATION SYSTEM DATA BASE TOOLS

Development of modern domestic GGIS on the basis of the open software are presented. The distributed architecture of the appendix that allows to provide storage of ore bodies and pit elements geometry in a database is taken for a GGIS basis. For work with the appendix through web the cartographical GeoServer server is used; quality of a geometrical kernel – OpenCASCADE. The comparative analysis of cloud storege services is carried out.

Keywords: *cloud computing, data base, field and pit modelling*

В.А. Ушков, М.Г. Бруяко, Л.С. Григорьева, Е.В. Сокорева

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И ГОРЮЧЕСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Ключевые слова: пенопласт, термостойкость, горючесть, прочность, антипирен, эксплуатационные свойства.

В работе рассмотрено влияние фосфорсодержащих антипиренов на термостойкость, горючесть и эксплуатационные свойства строительных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров. Выявлена оптимальная концентрация фосфорсодержащих антипиренов для получения слабогорючих заливочных пенопластов.

V.A. Ushkov, M.G. Brujako, L.S. Grigoreva, E.V. Sokoreva

THERMOSTABILITY AND COMBUSTIBILITY OF BUILDING POLYFOAMS ON THE BASIS OF REACTIVE OLIGOMERS

Keywords: polyfoam, thermostability, combustibility, strength, fire retardant.

В.Б. Филатов

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНОГО ПЕРИМЕТРА ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЛОСКИХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

Ключевые слова: монолитный железобетон, плоская плита перекрытия, колонна, продавливание.

В работе предлагается методика определения величины периметра расчетного контура при продавливании железобетонных монолитных плоских плит перекрытий колоннами прямоугольного сечения. Показано, что предлагаемая методика позволяет улучшить сходимость расчетных и опытных данных.

V.B. Filatov

TO DEFINITION OF SETTLEMENT PERIMETER FOR PUNCHING REINFORCED CONCRETE FLAT PLATES

Keywords: monolithic reinforced concrete, flat plate, column, punching.

This paper the technique of definition of size of perimeter of a settlement contour is offered at punching reinforced concrete monolithic flat plates by columns of rectangular section. It is shown, that the offered technique allows to improve convergence of predicted and experimental data.

А.И. Харченко, А.К. Дятлов, М.И. Баженов

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Ключевые слова: Мелкозернистый бетон, наномодификатор, механохемическая активность, структура бетона.

Исследование влияние наномодификаторов на формирования структуры и свойств мелкозернистых бетонов. Показано, что с уменьшением содержания цемента в композиционном вяжущем растет открытая пористость, снижается морозостойкость. Получены данные, что с увеличением содержания наномодификатора повышается прочность мелкозернистого бетона.

A.I. Kharchenko, A.K. Dyatlov, M.I. Bazhenov

EFFICIENT FINE-GRAINED CONCRETE BASED COMPOSITE BINDERS FOR MONOLITHIC HOUSING

Keywords: Fine concrete, nanomodifiers, mehanohemicheskaya activity, the structure of the concrete.

Nanomodifiers impact study on the structure and properties of fine-grained concrete. It is shown that a decrease in the cement content in the composite binder increases porosity, reduced frost. There is evidence that with increasing nanomodifiers fine concrete strength increases.

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк

ВОЗБУЖДЕНИЕ ГАРМОНИК ПРОДОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА КОНСОЛИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Ключевые слова: стержневые конструкции, динамические нагрузки, акустический импеданс, резонансные эффекты, высшие гармоники, электромеханические аналогии, эквивалентные схемы, дуальные схемы.

В статье рассматриваются резонансные эффекты возбуждения продольных упругих волн в консольном стержне при динамических нагрузках. Приведены результаты математического моделирования акустического импеданса и АЧХ стержня с учетом возбуждения высших гармоник основного резонанса.

M.S. Hlystunov, J.G. Mogiljuk

A LONGITUDINAL RESONANCE HARMONICS EXCITATION IN THE CONSOLE AT DYNAMIC LOADINGS

Keywords: rod designs, dynamic loadings, longitudinal acoustic waves, acoustic impedance, resonant effects, basic resonance, higher harmonics, electromechanical analogies, equivalent schemes, dual schemes

In article is considered longitudinal elastic waves excitation resonant effects in the console at dynamic loadings. Mathematical modeling results of a rod acoustic impedance and frequency into the basic resonance higher harmonics account excitation are resulted.

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк

ВОЗБУЖДЕНИЕ ОСНОВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В КОНСОЛЬНОМ СТЕРЖНЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Ключевые слова: стержневые конструкции, динамические нагрузки, продольный резонанс, пружинный маятник, эквивалентные схемы, ограниченное подобие, основной резонанс, амплитудно-частотная характеристика.

В статье методом подобия на модели пружинного маятника исследуется механизм и закономерности возбуждения основного продольного акустического резонанса консольного стержня, рассматриваются ограниченное подобие модели и даются рекомендации для натурных динамических исследований и верификации динамических характеристик стержня.

M.S. Hlystunov, J.G. Mogiljuk

THE BASIC ACOUSTIC RESONANCE EXCITATION IN THE CONSOLE AT DYNAMIC LOADINGS

Keywords: rod designs, dynamic loadings, longitudinal resonance, spring pendulum, equivalent schemes, limited similarity, basic resonance, peak-frequency characteristic.

In article are considered the similarity method on a spring pendulum model investigates of the console basic longitudinal acoustic resonance excitation mechanism and laws. The limited similarity model and recommendations for natural dynamic researches and verification of a rod dynamic characteristics are made.

А.Б. Шеин, А.В. Денисова, О.В. Козловская, С.А. Шардин, В.Г. Рябов

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРОВОДОРОДА НА ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ АЛКИЛДИМЕТИЛБЕНЗИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА

Ключевые слова: ингибитор коррозии, катионные ПАВ, скорость коррозии, защитный эффект.

Исследовано влияние содержания сероводорода в модельных средах на защитный эффект алкилдиметилбензиламмоний хлорида гравиметрическим и электрохимическим методами. Определена оптимальная дозировка ингибитора коррозии.

A.B. Shein, A.V. Denisova, O.V. Kozlovskaya, S.A. Shardin, V.G. Ryabov

INFLUENCE OF HYDROGEN SULFIDE CONTENT ON PROTECTIVE EFFECT OF ALKILDIMETILBENZILAMMONIYA CHLORIDE

Keywords: corrosion inhibitor, cationic surfactants, corrosion speed, protective effect.

Influence of the hydrogen sulfide content in modeling environments on protective effect of alkildimetilbenzilammoniya chloride is investigated by gravimetric and electrochemical methods. The optimum dosage of corrosion inhibitor is defined.

А.С. Ширкунов, А.В. Кудинов, В.Г. Рябов, П.В. Бакулев

СРАВНЕНИЕ ЖИДКОСТНОЙ АДСОРБЦИОННОЙ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ

Ключевые слова: нефтяные масла, масляный дистиллят, групповой химический состав, жидкостно-адсорбционная хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ).

Выполнено разделение масляных дистиллятов методом жидкостной адсорбционной хроматографии (ЖАХ) на силикагеле на отдельные углеводородные фракции. Проведен групповой анализ данных фракций высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ). Показана ограниченная применимость метода ЖАХ для определения состава в связи с недостаточной разделяющей способностью и существенным перекрыванием различных групп углеводородов.

A.S. Shirkunov, A.V. Kudinov, V.G. Ryabov, P.V. Bakulev

COMPARISON OF LIQUID ADSORPTION CHROMATOGRAPHY AND HIGH PRESSURE LIQUID CHROMATOGRAPHY IN PETROLEUM OIL GROUP-TYPE ANALYSIS

Keywords: petroleum oil, oil distillate, hydrocarbon group-type composition, liquid adsorption chromatography, high pressure liquid chromatography (HPLC).

Oil distillates are separated into individual hydrocarbon type groups with liquid adsorption chromatography on silica. Hydrocarbon group-type composition of obtained groups is studied with high pressure liquid chromatography (HPLC). It is shown that application of liquid adsorption chromatography for oil group-type analysis is very limited because of poor separation ability of this method that results in intermixing of hydrocarbon type groups.

А.С. Ширкунов, В.Г. Рябов, Е.В. Парфенова

ПОЛУЧЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ С УЛУЧШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ ПРОТИВ СТАРЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАУНДИРОВАННОЙ БИТУМНОЙ ОСНОВЫ И МОДИФИКАТОРА «ELVALOY 4170 RET»

Ключевые слова: битум, полимерно-битумные вяжущие, стойкость против старения, компаундированные битумы.

Исследована возможность получения дорожных полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) с использованием модификатора «Elvaloy 4170 RET», отличающихся улучшенной стойкостью против старения. Показано, что чистые неокисленные нефтепродукты являются малопригодными для модифицирования данным полимером, поскольку не удается обеспечить требуемый уровень пластичности. Выявлено, что оптимальной нефтяной основой для получения ПБВ с улучшенной стойкостью против старения являются компаундированные битумы.

A.S. Shirkunov, V.G. Ryabov, E.V. Parfenova

PRODUCTION OF PAVING GRADE POLYMER MODIFIED BITUMEN WITH IMPROVED AGEING RESISTANCE FROM POLYMER «ELVALOY 4170 RET» AND COMPOUNDED BITUMEN

Keywords: bitumen, polymer modified bitumen, ageing resistance, compounded bitumen.

Probability of production of paving grade polymer modified bitumen (PMB) from polymer «Elvaloy 4170 RET» with improved ageing resistance is studied. Results of investigation shows that nonoxidized petroleum residues are not suited well to modification with this polymer because of unacceptable viscosity of resulting product. It is found that optimal petroleum base for production of PMB with improved ageing resistance is compounded bitumen.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих редакционных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№5 2012

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 16.10.2012 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

19,4 усл.печ.л. 21,2 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 834.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420043, Республика Татарстан, Казань,
ул. Лесгафта, д.6
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»