

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

Сборник научных статей

№5 2011

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Казань

2011

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. № 5 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – 285 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 сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

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

УДК 60
ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>О.В. Ахметова к.ф.н., И.Ф. Кабиров, А.И. Филиппов д.т.н.</i> ЗАДАЧА О КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ В АНИЗОТРОПНОМ СЛОЕ С ИСТОЧНИКАМИ ПРИ НАЛИЧИИ КОНВЕКЦИИ	9
<i>А.В. Болдырев к.т.н., С.В. Болдырев, С.И. Харчук к.ф.-м.н., С.С. Харчук</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНИЦЫ ВХОДНОЙ ОБЛАСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТРЫВНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ	22
<i>Д.Р. Гильмиев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБВОДНЕНИЯ СКВАЖИН ПЕРЕСЕЧЕННЫХ ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА	27
<i>Д.Л. Егоров, С.А. Кузнецов к.ф.-м.н.</i> КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ СО ШТАМПАМИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ	32

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Н.В. Баранова к.х.н., А.Н. Семенов к.х.н., М.А. Феофанова к.х.н., Ю.В. Францева</i> СМЕШАНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОНОВ Cu^{2+} И Ni^{2+} С ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫМ ГЕПАРИНОМ И НЕКОТОРЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ	36
--	----

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Е.А. Аликин, А.С. Афанасьев, А.С. Волков, А.С. Карпов, М.А. Машиковцев, О.И. Ребрин д.х.н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ РАСТВОРОВ НИТРАТОВ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОЙ ОКСИДНОЙ СИСТЕМЫ Ce-Zr-Al-O	41
<i>С.Алтайулы к.т.н.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ФОСФОЛИПИДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЕЛ ПРИ УДАЛЕНИИ ВЛАГИ В РОТАЦИОННО-ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ	44
<i>В.Л. Балдин, А.П. Буйносков к.т.н.</i> ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВОВ	53
<i>Т.Х. Бадретдинов к.т.н., А.Г. Горюнов к.т.н., В.А. Курочкин</i> СИСТЕМА ТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	63
<i>В.Ф. Беккер к.т.н., М.Г. Гребенева</i> УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ ШУХАРТА	68
<i>И.В. Березин, П.Д. Кравченко д.т.н., Д.Н. Федоренко, И.М. Яблоновский</i> ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ	74
<i>А.В. Бродский к.т.н., С.Н. Падалко д.т.н.</i> РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛА	83
<i>В.И. Воронов к.т.н., В.В. Михайлов к.т.н., С.И. Рощина к.т.н.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ МНОГОПУСТОТНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ СТЕНДОВОГО БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ	89
<i>С.С. Голубев</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ	93

<i>В.Д. Горбачев, И.Е. Кузнецов к.г.н.</i> МЕТОДИКА ПРОСТРАНСТВЕННО–ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ПОЛЕЙ МЕТЕОВЕЛИЧИН В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТЕОИНФОРМАЦИИ	98
<i>К.Л. Горшкова, А.Р. Садыков, Л.Ф. Фархутдинов</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМАМИ НА ПРИМЕРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ЁМКОСТИ	102
<i>А.Г. Горюнов к.т.н., Н.Н. Горюнова к.э.н., Д.Г. Rogozный</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА АФФИНАЖА УРАНА ПУТЕМ КАЧЕСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ	111
<i>А.А. Ермаков, С.Н. Падалко д.т.н.</i> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СФЕРЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	115
<i>А.А. Ермаков, С.Н. Падалко д.т.н., Л.Б. Строгонова д.т.н., П.А. Фомкин</i> ПРОЕКТ УСТАНОВКИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСПОЗНАВАНИЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БОРТ ОБИТАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	122
<i>А.С. Жив д.т.н., Б.Р. Исакулов к.т.н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИЗОВАННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	125
<i>А.А. Жигайлов, С.А. Куюков к.т.н., А.Н. Шуваев д.т.н.</i> ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТОГРУНТА С ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКОЙ	131
<i>С.В. Змановский, В.Н. Хмелев д.т.н., С.Н. Цыганок к.т.н., А.В. Шалунов к.т.н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ	135
<i>А.С. Ильин</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАШЕНИЯ ДУГИ В ЭЛЕГАЗОВОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С РЕАЛЬНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ	140
<i>Б.Р. Исакулов к.т.н.</i> МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ПОРИЗОВАННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ И РАЗЛИЧНЫХ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯХ	147
<i>А.В. Казбеков</i> ГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИММЕТРИИ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ	153
<i>Б.В. Казбеков, Н.А. Максимов к.т.н., И.С. Пуртов, Д.П. Синча</i> ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БЛА НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	157
<i>В.И. Калашников д.т.н., А.В. Хвастунов, В.Л. Хвастунов д.т.н.</i> ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИГРОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ БЕТОНОВ И ФИБРОБЕТОНОВ С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА НА ЕДИНИЧУ ПРОЧНОСТИ	161
<i>В.Ю. Кара-Ушанов д.ф.-м.н., С.П. Кудрявцева</i> РЕИНЖИНИРИНГ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «УРАЛАСБЕСТ»	165
<i>Н.Н. Карнаухов д.т.н., Ш.М. Мерданов д.т.н., И.А. Пустовалов, А.В. Яркин к.т.н.</i> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ	169
<i>А.В. Картуков, Г.В. Меркишин д.т.н., А.И. Репин д.т.н.</i> КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА И ИДЕНТИФИКАЦИИ МАРКИ ТОПЛИВА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	174
<i>И.С. Колбин</i> РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАЛИЗОВАННЫХ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ СЕТЕЙ	178
<i>С.А. Колегов</i> ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ	182

<i>И.С. Коновалов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИСПЕРСНОМ СЛОЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ	185
<i>И.Е. Кузнецов к.г.н.</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ В ОСАДКАХ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	189
<i>Ю.М. Кузовников, В.Н. Хмелев д.т.н., С.Н. Цыганок к.т.н.</i> РАЗРУШЕНИЕ МАСЛЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ	194
<i>О.С. Лехов д.т.н., Е.Ю. Раскатов к.т.н., Д.А. Соловьев</i> НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ	198
<i>А.А. Матушкин, В.В. Терентьев, А.А. Яковлев к.т.н.</i> СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЫХОДНЫХ УСТРОЙСТВ ГТД СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	205
<i>А.О. Махорин к. т. н.</i> СМЕШАННО-ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ	209
<i>Е.Н. Минаев, д.т.н.</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СИСТЕМЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ СМЕШАННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ	215
<i>В.В. Михайлов к.т.н., С.И. Рощина к.т.н., П.Б. Шохин</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРЫ ПОЛЗУЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ	219
<i>Е.А. Никитина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В ТРЕХФАЗНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ	222
<i>Е.Ю. Раскатов к.т.н.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ	230
<i>Ю.В. Сергеев</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОМАШИН И ЕЕ АПРОБАЦИЯ	237
<i>Ю.В. Сластушенский</i> МОДЕЛЬ СЛУЧАЙНОГО БЛУЖДЕНИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ АНОМАЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ	242
<i>В.В. Смирнов к.ф.-м.н.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ОСНОВАМ АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATmega 16	247
<i>В.А. Столбова</i> МЕХАНИЗМ ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНА УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ	252
<i>Л.Б. Строгонова д.т.н., П.А. Фомкин</i> ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ В УСЛОВИЯХ ГЕРМЕТИЧНО ЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА	256
<i>Д.Ю. Сясин</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	260
<i>Р.Г. Тер – Аракелян, Б.В. Чувькин д.т.н.</i> ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ.	264
АННОТАЦИИ	268

THE RELEASE MAINTENANCE

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>O.V. Ahmetova, I.F. Kabirov, A.I. Filippov</i> PROBLEM ABOUT A TEMPERATURE FIELD IN AN ANISOTROPIC LAYER WITH SOURCES IN THE PRESENCE OF A CONVECTION	9
<i>A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev, S.I. Kharchuk, S.S. Kharchuk</i> ESTIMATION OF INFLUENCE OF BOUNDARY OF INLET REGION ON RESULTS OF MODELLING SEPARATED TURBULENT FLOW	22
<i>D.R. Gilmiev</i> MODELLING DYNAMICS OF WATERING OF WELL CROSSED BY HYDRAULIC FRACTURE	27
<i>D.L. Egorov, S.A. Kuznetsov</i> THE CONTACT INTERACTION OF PLATTERS ON AN ELASTIC FOUNDATION STAMPED BY VARIOUS FORMS	32

CHEMICAL SCIENSEC

<i>N.V. Baranova, A.N. Semenov, M.A. Feofanova, Yu.V. Frantseva</i> MIXED-LIGAND COMPLEXES OF IONS Cu^{2+} AND Ni^{2+} WITH HIGH MOLECULAR WEIGHT HEPARIN AND SOME AMINO ACIDS.	36
---	----

ENGINEERING SCIENCE

<i>E.A. Alikin, A.S. Afanasiev, A.S. Volkov, A.S. Karpov, M.S.Mashkovtsev, O.I. Rebrin</i> RESEARCH OF INFLUENCE SPRAY-TYPE DRYING OF NITRATES SOLUTIONS ON CE-ZR-AL-O OXIDE SYSTEMS PROPERTIES	41
<i>S.Altaiuly</i> MODELING HYDRODYNAMICS EMULSIONS PHOSPHOLIPID SUNFLOWER OIL FOR DRYING OF IN ROTARY-FILM APPARATUS	44
<i>V.L. Baldin, A.P. Buinosov</i> CHOICE OF THE TECHNICAL DECISION FOR THE AUTOMATED MEASUREMENT OF PARAMETERS OF WHEEL PAIRS AT MOVEMENT OF LOCOMOTIVES	53
<i>T.H. Badretdinov, A.G. Gorunov, A.V. Kurochkin</i> SYSTEM OF PRECISION DOSING BULK MATERIALS	63
<i>V.F. Becker, M.G. Grebeneva</i> QUALITY MANAGEMENT OF THE ROASTING PROCESS OF LIMESTONE USING SHEWHART-CARDS	68
<i>I.V. Berezin, P.D. Kravchenko, D.N. Fedorenko, I.M. Yablonovsky</i> PRACTICAL METHOD OF USING HEURISTIC PROCEDURE DURING PROCESS OF CREATION OF AUTOMATIC GRIPPER DEVICES	74
<i>A.V. Brodsky, S.N. Padalko</i> CONSTRUCTION DESIGN PRINCIPLES OF HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS FOR THE MANAGEMENT OF LA	83
<i>V.I. Voronov, V.V. Mihajlov, S.I. Roshchina</i> RESULTS OF NATURAL TESTS OF MULTIHOLLOW FERRO-CONCRETE PLATES MADE ON THE STAND WITHOUT USE OF THE TIMBERING	89
<i>S.S. Golubev</i> DETERMINATION OF REDUCED RESISTANCE TO HEAT TRANSFER OF FENCING WALL BASED ON NUMERICAL CALCULATION OF DISTRIBUTION OF TEMPERATURE FIELDS	93
<i>V.D. Gorbachev, I.E. Kuznetsov</i> METHODS OF SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS IN THE FIELDS METEOVARIABLES LIMITATIONS OF METROLOGICAL INFORMATION	98
<i>K.L. Gorshkova, A.R. Sadykov, L.F. Farkhutdinov</i> FUZZY LOGIC USE IN SYSTEMS MANAGEMENT BY THE EXAMPLE OF CONTROL OF DYNAMIC FLUID LEVEL IN TANK	102

<i>A.G. Gorunov, N.N. Gorunova, D.G. Rogozny</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF URANIUM REFINING BY MEANS OF HIGH QUALITY CONTROL OF CENTRIFUGAL EXTRACTORS CASCADE	111
<i>A.A. Ermakov, S.N. Padalko</i> MATHEMATICAL METHODS IN THE SPHERE OF MICROBIOLOGICAL SAFETY: DETECTION AND LOCATION OF MICROORGANISMS ON THE IMAGE	115
<i>A.A. Ermakov, S.N. Padalko, L.B. Strogonova, P.A. Fomkin</i> SETUP PROJECT OF HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR SPACECRAFT ON BOARD DETECTION OF MICROBIAL OBJECTS	122
<i>A.S. Zhiv, B.R. Isakulov</i> RESEARCH OF STRONG CHARACTERISTICS OF EASY CONCRETE ON THE BASIS OF A WASTE OF THE INDUSTRY AND VEGETATIVE RAW MATERIAL OF THE CENTRAL ASIA	125
<i>A.A. Zhigailov, S.A. Kuyukov, A.N. Shuvaev</i> INFLUENCE OF DEGREE OF CONSOLIDATION ON THE BASIC CHARACTERISTICS GROUND STRENGTHENED BY CEMENT WITH THE POLYMERIC ADDITIVE	131
<i>S.V. Zmanovsky, V.N. Khmelev, S.N. Tsyganok, A.V. Shalunov</i> USAGE OF ULTRASONIC VIBRATIONS FOR INCREASE IN EFFICIENCY OF ALUMINIUM MELT ATOMIZING	135
<i>A.S. Ilyin</i> ARC QUENCHING PROCESSES SIMULATION IN SF ₆ HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKER AND COMPARISON OF CALCULATION WITH TEST RESULTS	140
<i>B.R. Isakulov</i> TECHNIQUE OF TESTS OF CREEP EASY CONCRETE AT LONG TO LOADING AND VARIOUS COMPRESSING PRESSURE	147
<i>A.V. Kazbekov</i> GRADIENT METHOD FOR DETERMINING THE SYMMETRY OBJECTS ON DIGITAL IMAGES	153
<i>B.V. Kazbekov, N.A. Maksimov, I.S. Purtov, D.P. Sincha</i> UAV COORDINATES LOCALIZATION BASED ON THE RECOGNITION OF THE UNDERLYING SURFACE IMAGES	157
<i>V.I. Kalashnikov, A.V. Khvastunov, V.L. Khavstunov</i> PHYSICO-MECHANICAL AND HYGROMETRIC PROPERTIES OF POWDER-ACTIVATED HIGH-STRENGTH GRAVEL CONCRETE AND FIBER-REINFORCED GRAVEL CONCRETE WITH A LOW SPECIFIC CONSUMPTION OF CEMENT PER UNIT OF STRENGTH	161
<i>V.Y. Kara-Ushanov, S.P. Kudryavtseva</i> REENGINEERING OF THE QUALITY CONTROL SYSTEM ON THE ENTERPRISE OF JSC «URALASBEST»	165
<i>N.N. Karnauhov, Sh.M. Merdanov, I.A. Pustovalov, A.V. Yarkin</i> THE METHOD OF CALCULATING HEAT ACCUMULATOR FOR ENGINE BUILDING MACHINES	169
<i>A.V. Kartukov, G.V. Merkishin, A.I. Repin</i> COMPLEX USING OF PHYSICAL PARAMETERS FOR ANALYSING AND RECOGNITING FUELS TAPE BY OPTICAL METHOD	174
<i>I.S. Kolbin</i> SOLUTION OF STATIONARY PROBLEMS OF MATHEMATICAL PHYSICS USING NORMALIZED RADIAL BASIC NETWORKS	178
<i>S.A. Kolegov</i> THE THERMAL PROCESSES AT GRINDING	182
<i>I.S. Kononov, V.I. Matyukhin, O.V. Matyukhin</i> DEVELOPMENT OF HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES IN DISPERSED LAYER BY ACOUSTIC INTENSIFICATION METHOD	185
<i>I.E. Kuznetsov</i> METHODS OF ESTIMATING THE ERROR IN DETERMINING THE METROLOGICAL VISIBILITY RANGE IN PRECIPITATION ACCORDING TO RADAR OBSERVATION	189
<i>Yu.M. Kuzovnikov, V.N. Khmelev, S.N. Tsyganok</i> BREAKING OF WATER AND OIL EMULSION DURING ULTRASONIC TREATMENT	194
<i>O.S. Lehov, E.Yu. Raskatov, D.A. Solovyev</i> MODE OF DEFORMATION OF METAL IN THE DEFORMATION ZONE DURING PILGER ROLLING OF PIPES	198
<i>A.A. Matushkin, V.V. Terentev, A.A. Yakovlev</i> CREATING A MODEL OUTPUT DEVICES GTE COMPOSITE FORM	205

<i>A.O. Makhorin</i> MIXED INTEGER PROGRAMMING MODEL OF LONG-TERM PASSENGER AIRCRAFT MAINTENANCE SCHEDULING	209
<i>E.N. Minaev</i> THE METHOD OF CALCULATION ELECTRICAL FIELD IN THE SISTEM OF CATHODIC PROTTECTION WITH MIXED BOUNDARY CONDITION	215
<i>V.V. Mihajlov, S.I. Roshchina, P.B. Shokhin</i> EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CREEP UP WOOD	219
<i>E.A. Nikitina</i> INDUCTION HEATING FERROMAGNETIC CYLINDER BILLET THREE-PHASE MAGNETIC FIELD PROCESSES INVESTIGATION	222
<i>E.Yu. Raskatov</i> A THEORETICAL EFFORTS OF THE METAL DISPLACEMENT IN THE DEFORMATION ZONE DURING PILGER ROLLING THIN-WALLED TUBES	230
<i>Y.V. Sergeev</i> CALCULATION TECHNIQUE OF ACCELERATION FACTOR OF HYDRAULIC MACHINE TESTING AND ITS APPROVAL	237
<i>Y.V. Slastushenskiy</i> RANDOM WALK MODEL FOR ANOMALOUS DIFFUSION EQUATION	242
<i>V.V. Smirnov</i> THE IMPLTMENTATION OF A SET OF LABORATORY WORK ON THE FUNDAMENTALS OF AUTOMATION AND COMPUTER TECHNOLOGY BASED ON MICROCONTROLLER ATMEGA 16	247
<i>V.A. Stolbova</i> THE CITY SPATIALLY-TERRITORIAL ENVIRONMENT MECHANISM OF THE CHOICE OBJECTS AT MANAGEMENT PLAN FORMATION BY ITS TECHNICAL CONDITION	252
<i>L.B. Strogonova, P.A. Fomkin</i> TECHNICAL PROBLEMS OF MICROBIOLOGICAL PROTECTION OF A MANNED SPACE VEHICLE AND STATIONS	256
<i>D.Y. Syasin</i> APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR TASK SOLUTION OF ABOVE-WATER OBJECT IDENTIFICATION	260
<i>R.G. Ter – Arakelyan, B.V. Chuvykin</i> ESTIMATION OF THE MAXIMUM ERROR SIGMA-DELTA OF MODULATORS WITH USE OF A METHOD OF DECOMPOSITION	264
ABSTRACTS	268

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.14

О. В. Ахметова к.ф.н., И. Ф. Кабиров, А. И. Филиппов д.т.н.

Стерлитамакская педагогическая академия имени Зайнаб Биишевой
кафедра теоретической физики и методики обучения физике
Республика Башкортостан, г. Стерлитамак
kabirov.ilshat@bk.ru

ЗАДАЧА О КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ В АНИЗОТРОПНОМ СЛОЕ С ИСТОЧНИКАМИ ПРИ НАЛИЧИИ КОНВЕКЦИИ

Рассмотрена задача о квазистационарном аксиально симметричном температурном поле, создаваемом источниками, сосредоточенными в слое, окруженном теплопроводящей средой, при стационарном притоке жидкости к скважине нулевого радиуса при движения жидкости в радиальном направлении. Для решения использован «в среднем точный» асимптотический метод. Получены аналитические выражения для нулевого приближения и первого коэффициента разложения, при условии, что задача для усредненного по сечению потока, остаточного члена имеет тривиальное решение.

Ключевые слова: теплопроводящая среда, стационарный режим, фильтрация, температура, «в среднем точный» асимптотический метод.

Рассмотрена задача о квазистационарном температурном поле, создаваемом источниками, сосредоточенными в слое, окруженном теплопроводящей средой. Такая задача возникает во многих приложениях, например, в нефтегазовой технологии при изучении тепловых методов повышения нефтеотдачи пластов [5], температурных полей при кислотном воздействии, баротермического эффекта [6] и т.д. В качестве источника Q_d тепла может выступать, например, излучатель электромагнитных волн, которые в результате диссипации энергии переходят в тепло, поэтому такая задача важна для исследования высокочастотного электромагнитного нагрева среды. Предполагается, что движение жидкости (фильтрация в пористой среде) происходит радиально в направлении от периферии к скважине и задача обладает осевой симметрией. Для упрощения будем считать, что функция источников не зависит от вертикальной координаты z , т.е. $Q_d = Q_d(r_d, t)$.

Температурное поле исследуется в квазистационарном приближении. Это означает, что в уравнении конвективной теплопроводности пренебрегается производной по времени, в то же время входит в полученное решение параметрически. Такое упрощение позволяет существенно упростить задачу и тем самым исследовать вклад таких процессов, которые недоступны в обычной постановке. Отметим, что модели квазистационарных процессов широко используются в других областях, например, расчеты электрических цепей переменного тока обычно осуществляются на основе квазистационарного приближения.

В цилиндрической системе координат среда представлена тремя областями с плоскими границами раздела $z = \pm h$, перпендикулярными оси z (рис. 1). Среда в первой и во второй области имеет плотность ρ_1 , удельную теплоемкость c_1 , теплопроводности $\lambda_{r1}, \lambda_{z1}$, температуропроводности a_{r1}, a_{z1} . Средняя область толщины $2h$ имеет соответственно следующие параметры: $\lambda_z, \lambda_r, a_r, a_z, \rho, c$. Среда считается сильно анизотропной, так что

$\lambda_r \ll \lambda_z$, $\lambda_{r1} \ll \lambda_{z1}$. Это позволяет при записи уравнения теплопроводности для всех областей пренебречь слагаемым, содержащим радиальную теплопроводность.

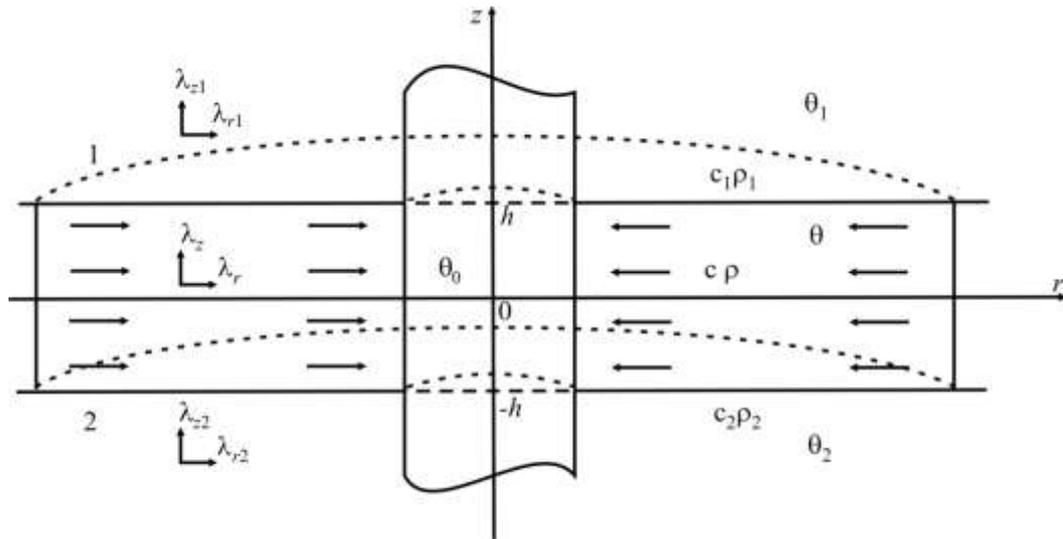


Рис. 1. Геометрия задачи.

Постановка задачи в безразмерном виде представляется уравнениями теплопроводности для покрывающего и подстилающего пластов, теплофизические свойства которых для простоты полагаются одинаковыми

$$\frac{\partial T_1}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, \quad r > 0, \quad Fo > 0, \quad (1)$$

квазистационарным уравнением конвективной теплопроводности в пласте

$$u(r, Fo) \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{\chi}{\varepsilon \Lambda} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = Q(r, Fo), \quad -1 < z < 1, \quad r > 0, \quad Fo > 0, \quad (2)$$

На границах раздела заданы условия равенства температур и тепловых потоков

$$T|_{z=1} = T_1|_{z=1}, \quad \varepsilon \Lambda \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=1} = \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=1}, \quad \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \quad (3)$$

Температурные возмущения в начальный момент времени отсутствуют

$$T|_{Fo=0} = T_1|_{Fo=0} = T_2|_{Fo=0} = 0, \quad (4)$$

Граничные условия представлены в виде

$$T_1|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (5)$$

Скорость конвективного переноса тепла \vec{u} в общем случае зависит от координат и времени. Здесь предполагается, что она имеет только одну отличную от нуля радиальную координату, которая не зависит от вертикальной координаты z : $\vec{u} = (0, 0, u_r)$, $u_r = u_d(r, t)$.

В общем случае постановка задачи различается для случаев $u_d > 0$ (флюид движется в направлении к полярной оси) и $u_d < 0$ (флюид движется в направлении от полярной оси). Ниже основное внимание уделено случаю $u_d < 0$, то есть движению жидкости из бесконечности к полярной оси, что с практической точки зрения соответствует добыче нефти, газа и воды из скважины.

Общенаучное значение рассматриваемой задачи заключается в следующем. При отрицательных значениях $u_d < 0$ знаки перед производными по реальному времени Fo и координате r в уравнении (3) противоположны. Формально имеем две переменные, которые

фигурируют в уравнении только в виде частных производных первого порядка по F_0 и r с противоположными знаками. Поскольку переменная F_0 соответствует реальному времени, то вторая переменная r может быть интерпретирована как обратное время, а задачи с обратным временем традиционно представляют повышенный интерес.

При стационарном радиальном движении в направлении полярной оси несжимаемой жидкости радиальная координата вектора скорости конвективного переноса тепла с помощью уравнения неразрывности легко выражается через модуль той же скорости u_0 в фиксированной точке r_0 как $u_d = -u_0 r_0 / r_d$, или в безразмерном виде $u = -J / (2r)$, где $J = 2u_0 r_0 / a_{z1}$.

В постановке (1) – (5) аналитическое решение задачи представляет значительные трудности. При получении приближенных решений использован «в среднем точный» асимптотический метод. Для этого в задаче (1) – (5) формально введен параметр асимптотического разложения ε путем замены Λ на $\varepsilon\Lambda$. При $\varepsilon = 1$ задача сводится к исходной. Такое введение формального параметра в задаче имеет физический смысл, заключающийся в том, что устремление его к нулю $\varepsilon \rightarrow 0$ соответствует возрастанию вертикальной компоненты теплопроводности до бесконечности $\lambda_z \rightarrow \infty$. Ниже показано, что это приводит к тому, что в нулевое приближение в пласте не зависит от вертикальной координаты («мгновенное выравнивание») и определяет осредненные по толщине пласта значения температуры.

Представим решение задачи в виде асимптотического ряда по параметру ε

$$T_j = T_j^{(0)} + \varepsilon T_j^{(1)} + \varepsilon^2 T_j^{(2)} + \dots + \varepsilon^n T_j^{(n)} + \Theta_j^{(n)}, \quad (6)$$

где нижние индексы у безразмерной температуры T относятся к номеру области, а верхние соответствуют порядковому номеру приближения.

Процедуру отыскания коэффициентов асимптотического разложения можно повторять до получения требуемого количества слагаемых. Однако чаще всего приходится ограничиваться нулевым и первым слагаемым в асимптотическом разложении.

Подставляя (6) в (1) – (5), получим

$$\frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial F_0} - \frac{\partial^2 T_1^{(0)}}{\partial z^2} + \varepsilon \left(\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial F_0} - \frac{\partial^2 T_1^{(1)}}{\partial z^2} \right) + \dots = 0, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & - \frac{\chi}{\Lambda} \cdot \frac{\partial^2 T^{(0)}}{\partial z^2} + \varepsilon \cdot \left(u(r, F_0) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial r} - \frac{\chi}{\Lambda} \frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial z^2} - Q(r, F_0) \right) + \\ & + \varepsilon^2 \cdot \left(u(r, F_0) \frac{\partial T^{(1)}}{\partial F_0} - \frac{\chi}{\Lambda} \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z^2} \right) + \dots = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

$$T^{(0)} \Big|_{z=1} - T_1^{(0)} \Big|_{z=1} + \varepsilon \left(T^{(1)} \Big|_{z=1} - T_1^{(1)} \Big|_{z=1} \right) + \dots = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial T^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1} + \varepsilon \left(\frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} - \Lambda \frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \right) \Big|_{z=1} + \varepsilon^2 \left(\frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} - \Lambda \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} \right) \Big|_{z=1} + \dots = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial T^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=0} + \varepsilon \frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=0} + \varepsilon^2 \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=0} + \dots = 0, \quad (11)$$

$$T^{(i)} \Big|_{F_0=0} = T_1^{(i)} \Big|_{F_0=0} = T_2^{(i)} \Big|_{F_0=0} = 0, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (12)$$

$$T^{(i)} \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(i)} \Big|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_2^{(i)} \Big|_{r+|z| \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (13)$$

Задача для остаточного члена строится далее с учетом полученных выражений для коэффициентов разложения.

Из (8) для нулевого приближения имеем $\partial^2 T^{(0)}/\partial z^2 = 0$. Отсюда следует, что производная от нулевого приближения по координате z не зависит от координаты z , то есть $\partial T^{(0)}/\partial z = \text{const}$. Так как для нулевого приближения из (10) следует, что $\partial T^{(0)}/\partial z|_{z=1} = 0$ и, $\partial T^{(0)}/\partial z|_{z=-1} = 0$ то получим $\partial T^{(0)}/\partial z = 0$. Последнее означает, что $T^{(0)}$ не зависит от z и является функцией только от r и Fo , то есть $T^{(0)} = T^{(0)}(r, Fo)$. Приравнявая к нулю выражение перед сомножителем первого порядка по ε в (8), получим

$$\frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial z^2} = A(r, Fo), \quad (14)$$

где

$$A(r, Fo) = \frac{\Lambda}{\chi} \left(u(r, Fo) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial r} - Q(r, Fo) \right) \quad (15)$$

не зависит от z .

Уравнение (14) с учетом (15) является «зацепленным» в том смысле, что оно через (15) содержит коэффициенты разложения нулевого и первого порядков $T^{(0)}$ и $T^{(1)}$. Это затрудняет решение соответствующих задач. Ниже описаны преобразования, позволившие «расцепить» уравнение (14), исключив из него $T^{(1)}$.

Так как $T^{(0)}$ не зависит от координаты z , то $A(r, Fo)$, согласно (15), также не зависит от z . Проинтегрировав дважды (14), получим выражение для температуры в пласте в первом приближении

$$\frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} = z \cdot A(r, Fo) + B(r, Fo), \quad T^{(1)} = \frac{z^2}{2} A(r, Fo) + zB(r, Fo) + E(r, Fo), \quad (16)$$

где $B(r, Fo)$ и $E(r, Fo)$ не зависят от z . Из условия симметрии (11) получим $B(r, Fo) = 0$.

Приравняв к нулю выражения перед сомножителем первого порядка по ε в (10), получим

$$\frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} = \Lambda \frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1}. \quad (17)$$

откуда с учетом (16), получим выражение для неизвестного коэффициента $A(r, Fo)$

$$A(r, Fo) = \Lambda \frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1}. \quad (18)$$

Подставив полученное выражение (18) для $A(r, Fo)$ в (15), получим уравнение, содержащее коэффициенты разложения только нулевого порядка

$$u(r, Fo) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1} = Q(r, Fo). \quad (19)$$

Итак, реализованная выше последовательность преобразований позволила «расцепить» исходное уравнение (16), содержащее коэффициенты разложения нулевого и первого порядка $T^{(0)}$ и $T^{(1)}$.

Выписав из (7) – (13) слагаемые нулевого порядка ε , с учетом (19) получим задачу, содержащую только нулевые коэффициенты разложения

$$\frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 T_1^{(0)}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, r > 0, Fo > 0, \quad (20)$$

$$u(r, Fo) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1} = Q(r, Fo), \quad |z| < 1, r > 0, Fo > 0, \quad (21)$$

$$T_1^{(0)}|_{z=1} = T^{(0)}, \quad (22)$$

$$T_1^{(0)}|_{Fo=0} = 0, \quad (23)$$

$$T^{(0)}|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(0)}|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (24)$$

Уравнения (20), (21) являются взаимосвязанными, так как уравнение (21) наряду с искомой температурой содержит последнее слагаемое – след производной искомых решений из внешних областей. В частном случае такая постановка сводится к «схеме сосредоточенной емкости», широко применяемой в теплофизике.

Отметим, что успех используемого метода обусловлен тем, что вторая производная по вертикальной координате исходной задачи трансформировалась в след производных из внешних областей – для нулевого коэффициента. Это обстоятельство в известном смысле перекликается с идеей интегральных преобразований, которые преобразуют производные в алгебраические выражения. Однако наиболее результативным в смысле построения конструктивных расчетных формул, как показано ниже, является комплексное их использование.

Осреднение исходной задачи. Осредняем задачу (1) – (5) по z , в пределах от 0 до 1 по формуле

$$\langle \Theta \rangle = \int_0^1 \Theta dz. \quad (25)$$

После осреднения температуры в задаче получим

$$\frac{\partial T_1}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, r > 0, Fo > 0, \quad (26)$$

$$u(r, Fo) \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=1} = Q(r, Fo), |z| < 1, r > 0, Fo > 0, \quad (27)$$

$$T_1|_{z=1} = \langle T \rangle, \quad (28)$$

$$T_1|_{Fo=0} = 0, \quad (29)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \langle T \rangle = 0, \quad \lim_{r+z \rightarrow \infty} T_1 = 0, \quad (30)$$

где для осреднения уравнения (3) использовано соотношение

$$\frac{\chi}{\varepsilon \Lambda} \int_0^1 \frac{\partial^2 \langle T \rangle}{\partial z^2} dz = \frac{\chi}{\varepsilon \Lambda} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=1} - \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} \right) = \chi \cdot \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=1}. \quad (31)$$

Нетрудно заметить, что постановки задач (20) – (24) и (26) – (30) совпадают. Из единственности решения получим $T^{(0)} = \langle T \rangle$, то есть решения задач для нулевого коэффициента осредненных значений температуры совпадают. Отсюда следует, что процесс отыскания нулевого коэффициента разложения полностью соответствует процедуре построения осредненного решения. Этот факт имеет важное значение для построения решений аналогичных задач с переменными коэффициентами или нелинейными уравнениями, возникающими, например, при фазовых переходах в рассматриваемом слое. Классическая процедура интегрального осреднения в этом случае не приводит к рациональному конечному выражению, а нахождение среднего значения путем решения задачи в асимптотическом нулевом приближении чаще возможно и приводит к приемлемому результату.

Предельный случай нулевого приближения. Он возникает из задачи (20) – (24) при условии, что вкладом теплоотдачи из слоя в сравнении с конвекцией можно пренебречь.

$$\left| \chi \left(\frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1} \right) \right| / \left| u(r, Fo) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial r} \right| \ll 1. \quad (32)$$

Это условие соответствует адиабатической изоляции пласта, при этом температурное поле в окружающей среде определяется его значением на границе. В данном случае имеем задачу

$$\frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 T_1^{(0)}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, r > 0, Fo > 0, \quad (33)$$

$$u(r, Fo) \frac{\partial T^{(0)}}{\partial r} = Q(r, Fo), \quad |z| < 1, r > 0, Fo > 0, \quad (34)$$

$$T_1^{(0)}|_{z=1} = T^{(0)}, \quad (35)$$

$$T_1^{(0)}|_{Fo=0} = 0, \quad (36)$$

$$T^{(0)}|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(0)}|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (37)$$

Задача (33) – (37) уже не является взаимосвязанной и допускает решение уравнения (33) независимо от (37). Решение соответствующей задачи для $T_1^{(0)}$ находится методом интегральных преобразований и представляются в виде свертки с выражением для температуры в пласте $T^{(0)}$ следующим образом:

$$T_1^{(0)} = \frac{z-1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{Fo} T^{(0)}(Fo-s) \exp\left(-\frac{(z-1)^2}{4s}\right) \frac{ds}{s\sqrt{s}}, \quad z > 1, r > 0, Fo > 0. \quad (38)$$

Функция $T^{(0)}$ является решением уравнения (34), которое легко находится путем простого интегрирования

$$T^{(0)} = \int_{\infty}^r Q(r, Fo) \frac{dr'}{u(r', Fo)}. \quad (39)$$

Решение задачи в нулевом приближении. Предположим, что скорость конвективного переноса тепла не зависит от времени, то есть $u = u(r) = -J/2r < 0$, и трансформируем задачу (20) – (24) в пространство изображений Лапласа – Карсона

$$pT_1^{(0)u} - \frac{\partial^2 T_1^{(0)u}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, r > 0, \quad (40)$$

$$u(r) \frac{\partial T^{(0)u}}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1^{(0)u}}{\partial z} \Big|_{z=1} = Q^u(r, p), \quad (41)$$

$$T_1^{(0)u} \Big|_{z=1} = T^{(0)u}, \quad (42)$$

$$T^{(0)u} \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(0)u} \Big|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (43)$$

Решения уравнения (40) с учетом граничного условия (42) представляются как

$$T_1^{(0)u} = T^{(0)u} \exp(-\sqrt{p}(z-1)). \quad (44)$$

С учетом этого выражение (18) в пространстве изображений после нахождения в них частных производной от решения в первой области (44) можно записать в виде

$$A^u(r, p) = \Lambda \frac{\partial T_1^{(0)u}}{\partial z} \Big|_{z=1} = -\Lambda \sqrt{p} T^{(0)u}. \quad (45)$$

Уравнение (41) преобразуем к виду

$$\chi \sqrt{p} T^{(0)u} + \frac{\partial T^{(0)u}}{\partial \tau} = Q^u(\tau, p), \quad (46)$$

где

$$\tau = \int_a^r \frac{dr''}{u(r'')}. \quad (47)$$

Величина a является произвольной. Отсюда получаем аналитическое решение уравнения (46) в изображениях для средней области

$$T^{(0)u} = \int_{\tau}^{\infty} Q^u(\tau, p) \cdot \exp[\chi\sqrt{p} \cdot (\tau' - \tau)] d\tau' = - \int_r^{\infty} Q^u(r', p) \cdot \exp\left[\chi\sqrt{p} \cdot \int_r^{r'} \frac{dr''}{u(r'')} \right] \frac{dr'}{u(r')} \quad (48)$$

С помощью (44) легко найти решение в изображениях для первой области

$$T_1^{(0)u} = - \int_r^{\infty} Q^u(r', p) \cdot \exp\left[-\sqrt{p}\left(-\chi \cdot \int_r^{r'} \frac{dr''}{u(r'')} + (z-1)\right)\right] \frac{dr'}{u(r')} \quad (49)$$

В частном случае $u(r) = -J/(2r)$ получим

$$T^{(0)u} = \frac{2}{J} \cdot \int_r^{\infty} Q^u(r', p) \cdot \exp\left(-\frac{\chi\sqrt{p}}{J} \cdot (r'^2 - r^2)\right) r' dr', \quad (50)$$

$$T_1^{(0)u} = \frac{2}{J} \cdot \int_r^{\infty} Q^u(r', p) \cdot \exp\left[-\sqrt{p}\left(\frac{\chi}{J} \cdot (r'^2 - r^2) + (z-1)\right)\right] r' dr', \quad (51)$$

Выполнив переход в пространство оригиналов, имеем

$$T^{(0)} = \frac{2}{J} \cdot \int_r^{\infty} \frac{d}{dFo} \int_0^{Fo} Q(r', Fo - \tau) \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi(r'^2 - r^2)}{2J\sqrt{\tau}}\right) r' d\tau dr', \quad (52)$$

$$T_1^{(0)} = \frac{2}{J} \cdot \int_r^{\infty} \frac{d}{dFo} \int_0^{Fo} Q(r', Fo - \tau) \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi(r'^2 - r^2) + J(z-1)}{2J\sqrt{\tau}}\right) r' d\tau dr'. \quad (53)$$

Выражения (52), (53) использованы при построении формул для расчетов средней температуры в пласте и температуры в окружающих породах. Например, при постоянных источниках тепла, сосредоточенных в области $r < R$

$$Q(r, Fo) = Q\Phi(R - r). \quad (54)$$

для больших времен получим простую формулу

$$T^{(0)} = \frac{QR^2}{J} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \Phi(R - r). \quad (55)$$

которую легко проверить с помощью энергетического баланса.

Для постоянно действующего цилиндрического источника, с поверхностной плотностью σ , локализованного на расстоянии $R = R_d/h$ от оси, $Q_d = \sigma\delta(r - R)/h$ получим

$$T^{(0)} = \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi(R^2 - r^2)}{2J\sqrt{Fo}}\right) \Phi(R - r), \quad (56)$$

$$T_1^{(0)} = \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi(R^2 - r^2) + J(z-1)}{2J\sqrt{Fo}}\right) \Phi(R - r), \quad (57)$$

где в качестве характерного перепада температуры выбрана величина $\theta_{11} = \sigma/(c\rho u_0)$.

Отметим также, что нулевое приближение не зависит от Λ .

Задача для остаточного члена. Представим искомое решение в виде $T = T^{(0)} + \varepsilon T^{(1)} + \Theta$ и рассмотрим задачу для остаточного члена Θ

$$\frac{\partial\Theta}{\partial Fo} - \frac{\partial^2\Theta}{\partial z^2} = 0, \quad (58)$$

$$u(r) \frac{\partial\Theta}{\partial r} - \frac{\chi}{\varepsilon\Lambda} \frac{\partial^2\Theta}{\partial z^2} = -\varepsilon u(r) \frac{\partial T^{(1)}}{\partial r}, \quad (59)$$

$$\Theta|_{z=1} = \Theta_1|_{z=1}, \quad (60)$$

$$\frac{\partial\Theta}{\partial z}|_{z=1} = \varepsilon\Lambda \frac{\partial(\Theta_1 + \varepsilon T_1^{(1)})}{\partial z}|_{z=1}, \quad (61)$$

$$\Theta_1|_{Fo=0} = 0, \quad (62)$$

$$\Theta|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad \Theta_1|_{r+|z| \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (63)$$

Усредним задачу (58) – (63) по z в пределах от 0 до 1 по формуле (25). Для осреднения уравнения (59) использовано соотношение, следующее из (61)

$$\int_0^1 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} dz = \frac{\partial \Theta}{\partial z} \Big|_{z=1} - \frac{\partial \Theta}{\partial z} \Big|_{z=-1} = \Lambda \varepsilon \frac{\partial (\Theta_1 + \varepsilon T_1^{(1)})}{\partial z} \Big|_{z=1}. \quad (64)$$

Осредненная задача для остаточного члена имеет вид

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial z^2} = 0, \quad (65)$$

$$u(r) \frac{\partial \langle \Theta \rangle}{\partial r} - \chi \frac{\partial \Theta_1}{\partial z} \Big|_{z=1} = -\varepsilon \left(u(r) \frac{\partial \langle T^{(1)} \rangle}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} \right), \quad (66)$$

$$\langle \Theta \rangle \Big|_{z=1} = \Theta_1 \Big|_{z=1}, \quad (67)$$

$$\langle \Theta \rangle \Big|_{Fo=0} = -\varepsilon \langle T^{(1)} \rangle, \quad \Theta_1 \Big|_{Fo=0} = 0, \quad (68)$$

$$\langle \Theta \rangle \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad \Theta_1 \Big|_{r+|z| \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (69)$$

Усредняя аналогично уравнение для первого коэффициента разложения, следующее из (16) при множителе ε^2 , с учетом условий сопряжения (18), получим

$$u(r) \frac{\partial \langle T^{(1)} \rangle}{\partial r} = \chi \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1}. \quad (70)$$

Последнее означает, что правая часть уравнения (70) тождественно равна нулю. Отсюда следует, что осредненный остаточный член $\langle \Theta \rangle$ и осредненный первый коэффициент $\langle T^{(1)} \rangle$ удовлетворяют одному и тому же уравнению, в котором дифференциальная часть оператора дополняется следами производных из внешних областей. Такой же оператор со следами производных содержит уравнение для нулевого коэффициента (34).

Из (70) при дополнительном условии $\langle T^{(1)} \rangle = 0$ следует, что усредненная задача для остаточного члена имеет только тривиальное решение. Покажем это. Учитывая (63), запишем (65) – (69) в пространстве изображений Лапласа – Карсона

$$p \Theta_1^u - \frac{\partial^2 \Theta_1^u}{\partial z^2} = 0, \quad (71)$$

$$u(r) \frac{\partial \langle \Theta \rangle^u}{\partial r} - \chi \frac{\partial \Theta_1^u}{\partial r} \Big|_{z=1} = 0, \quad (72)$$

$$\langle \Theta \rangle^u \Big|_{z=1} = \Theta_1^u \Big|_{z=1}, \quad (73)$$

$$\langle \Theta \rangle^u \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad \Theta_1^u \Big|_{r+|z| \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (74)$$

Решения уравнения (71) с учетом (73) имеют вид

$$\Theta_1^u = \langle \Theta \rangle^u \Big|_{z=1} \exp(-\sqrt{p}(z-1)), \quad (75)$$

откуда найдём

$$\frac{\partial \Theta_1^u}{\partial z} \Big|_{z=1} = -\sqrt{p} \langle \Theta \rangle^u. \quad (76)$$

Тогда (72) запишется в виде

$$u(r) \frac{\partial \langle \Theta \rangle^u}{\partial r} + \chi \sqrt{p} \langle \Theta \rangle^u = 0, \quad (77)$$

или при $u(r) = -J/(2r)$

$$-\frac{J}{2r} \frac{\partial \langle \Theta \rangle^u}{\partial r} + \chi \sqrt{p} \langle \Theta \rangle^u = 0. \quad (78)$$

Общее решение уравнений (77) и (78) представляется как

$$\langle \Theta \rangle^u = C \cdot \exp \left[-\chi \sqrt{p} \int \frac{dr}{u(r)} \right], \quad \langle \Theta \rangle^u = C \exp \left(\frac{\chi \sqrt{p}}{J} r^2 \right), \quad (79)$$

из которого в силу требования ограниченности решения (79) при $r \rightarrow \infty$ получаем, что $C = 0$, откуда следует, что $\langle \Theta \rangle^u = 0$. Поэтому $\Theta_1^{\hat{e}}$ в силу (75) также равно нулю. Это означает, что осредненная задача для остаточного члена имеет только тривиальное решение.

Найденное асимптотическое разложение обладает важным свойством, заключающимся в том, что решение осредненной задачи для остаточного члена является тривиальным при любых значениях формального параметра ε . Это, естественно, повышает его практическую ценность, поскольку определен критерий близости точного решения и найденного асимптотического, нулевой коэффициент которого является решением осредненной задачи. Поэтому целесообразно в асимптотических решениях выделить соответствующий класс решений. Асимптотическое решение параметризованной задачи (1)–(5), построенное при условии, что решение осредненной задачи для остаточного члена является тривиальным, назван «в среднем точным» асимптотическим решением.

Постановка задачи для первого коэффициента. Запишем из условия равенства нулю вторых слагаемых порядка ε в (15) – (21) и третьего слагаемого порядка ε^2 в уравнении (16)

$$\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 T_1^{(1)}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, r > 0, Fo > 0, \quad (80)$$

$$u(r, Fo) \frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} - \frac{\chi}{\Lambda} \frac{\partial^2 T^{(2)}}{\partial z^2} = 0, \quad |z| < 1, r > 0, Fo > 0, \quad (81)$$

$$T_1^{(1)}|_{z=1} = T^{(1)}|_{z=1}, \quad T_2^{(1)}|_{z=-1} = T^{(1)}|_{z=-1}, \quad (82)$$

$$\Lambda \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} = \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=1}, \quad \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad (83)$$

$$T^{(1)}|_{Fo=0} = 0, \quad T_1^{(1)}|_{Fo=0} = T_2^{(1)}|_{Fo=0} = 0, \quad (84)$$

$$T^{(1)}|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(1)}|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_2^{(1)}|_{r+|z| \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (85)$$

Осуществим «расщепление» уравнение для проницаемого пласта, содержащего коэффициенты разложения первого и второго порядков. Уравнение (75) представим в виде

$$\hat{L}T^{(1)} = \frac{\partial^2 T^{(2)}}{\partial z^2}, \quad (86)$$

где \hat{L} – оператор, который имеет вид

$$\hat{L} = \frac{\Lambda}{\chi} u(r, Fo) \frac{\partial}{\partial r}. \quad (87)$$

Воздействием оператора \hat{L} на выражение (16), согласно (81), получим

$$\hat{L}T^{(1)} = \frac{z^2}{2} \hat{L}A(r, Fo) + \hat{L}E(r, Fo) = \frac{\partial^2 T^{(2)}}{\partial z^2}. \quad (88)$$

Уравнение (88) эквивалентно уравнению (81). Здесь $A(r, Fo)$ находится согласно (18), а $E(r, Fo)$ – неизвестно.

Для отыскания $\widehat{LE}(r, Fo)$ проинтегрируем по z выражение (92), получим

$$\frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} = \frac{z^3}{6} \widehat{LA}(r, Fo) + z \widehat{LE}(r, Fo) + M(r, Fo). \quad (89)$$

Условия (83) позволяют определить коэффициенты $\widehat{LE}(r, Fo)$ и $M(r, Fo)$. Из условия симметрии получим $M(r, Fo) = 0$. Условие сопряжения на верхней границе приводит к уравнению

$$\left. \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} \right|_{z=1} = \frac{1}{6} \widehat{LA}(r, Fo) + \widehat{LE}(r, Fo) = \Lambda \left. \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} \right|_{z=1}, \quad (90)$$

откуда

$$\widehat{LE}(r, Fo) = \Lambda \left. \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} \right|_{z=1} - \frac{1}{6} \widehat{LA}(r, Fo), \quad (91)$$

Подставив в (88) выражение для $A(r, Fo)$ из (18), а также для $\widehat{LE}(r, Fo)$ – из (91), сформулируем задачу для первых коэффициентов разложения

$$\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial Fo} - \frac{\partial^2 T_1^{(1)}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, r > 0, Fo > 0, \quad (92)$$

$$u(r, Fo) \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z} = \chi \left(\frac{z^2}{2} - \frac{1}{6} \right) \widehat{L} \left(\left. \frac{\partial T_1^{(0)}}{\partial z} \right|_{z=1} \right), \quad 0 < z < 1, r > 0, Fo > 0, \quad (93)$$

$$T_1^{(1)} \Big|_{z=1} = T^{(1)} \Big|_{z=1}, \quad (94)$$

$$T_1^{(1)} \Big|_{Fo=0} = 0, \quad (95)$$

$$T^{(1)} \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(1)} \Big|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (96)$$

Отметим, что в отличие от нулевой задача для первого коэффициента не содержит явно функции источников $Q(r, Fo)$. Тем не менее, решение зависит от этой функции через нулевое приближение.

Применяя преобразование Лапласа – Карсона по времени для случая $u(r, Fo) = u(r)$, перейдем в пространство изображений. Задача в первом приближении в изображениях примет вид

$$p T_1^{(1)u} - \frac{\partial^2 T_1^{(1)u}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, \quad (97)$$

$$u(r) \frac{\partial T_1^{(1)u}}{\partial r} - \chi \frac{\partial T_1^{(1)u}}{\partial z} \Big|_{z=1} = \chi \left(\frac{z^2}{2} - \frac{1}{6} \right) \widehat{L}^u \left(\left. \frac{\partial T_1^{(0)u}}{\partial z} \right|_{z=1} \right) + p T^{(1)} \Big|_{Fo=0}, \quad (98)$$

$|z| < 1, r > 0,$

$$T_1^{(1)u} \Big|_{z=1} = T^{(1)u} \Big|_{z=1}, \quad (99)$$

$$T^{(1)u} \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad T_1^{(1)u} \Big|_{r+z \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (100)$$

Выражение (90) в пространстве изображений Лапласа – Карсона представляется как

$$(\widehat{LE})^u = \Lambda \left. \frac{\partial T_1^{(1)u}}{\partial z} \right|_{z=1} - \frac{1}{6} \widehat{L}^u A^u(r, p). \quad (101)$$

Решение уравнения (97) находится аналогично решению в нулевом приближении

$$T_1^{(1)u} = T^{(1)u} \Big|_{z=1} \exp(-\sqrt{p}(z-1)). \quad (102)$$

Вид решения $T^{(1)e}$ определяется из соотношения (16)

$$T^{(1)u} = \frac{z^2}{2} A^u(r, p) + E^u(r, p) = -\Lambda \frac{z^2}{2} \sqrt{p} T^{(0)u} + E^u(r, p), \quad (103)$$

где учтено, что согласно (18) $A^e(r, p) = -\Lambda \sqrt{p} T^{(0)e}$. Для нахождения первого коэффициента разложения температуры в виде (97) необходимо определить вид функции $E^u(r, p)$. Используя (96) и (97), получим

$$\frac{\partial T_1^{(1)u}}{\partial z} \Big|_{z=1} = -\sqrt{p} T^{(1)u} \Big|_{z=1} = -\sqrt{p} \left(\frac{1}{2} A^u(r, p) + E^u(r, p) \right), \quad (104)$$

Подставляя (103), (104) в (101), получим следующее уравнение для $E^u(r, p)$:

$$u(r) \frac{\partial E^u}{\partial r} + \chi \sqrt{p} E^u = \frac{\Lambda \chi}{3} \left(p T^{(0)u} + \frac{1}{2} \sqrt{p} Q^u \right) \equiv F^u(r, p). \quad (105)$$

Решение этого уравнения для случая $u(r) < 0$ с условием ограниченности на бесконечности можно представить в виде

$$E^u = - \int_r^\infty F^u(r', p) \cdot \exp \left[\chi \sqrt{p} \cdot \int_r^{r'} \frac{dr''}{u(r'')} \right] \frac{dr'}{u(r')}. \quad (106)$$

С помощью (103) легко найти решение в изображениях для центрального пласта и первой области

$$T^{(1)u} = -\Lambda \frac{z^2}{2} \sqrt{p} T^{(0)u} - \int_r^\infty F^u(r', p) \cdot \exp \left[\chi \sqrt{p} \cdot \int_r^{r'} \frac{dr''}{u(r'')} \right] \frac{dr'}{u(r')}, \quad (107)$$

$$T_1^{(1)u} = - \left\{ \Lambda \frac{z^2}{2} \sqrt{p} T^{(0)u} + \int_r^\infty F^u(r', p) \cdot \exp \left[\chi \sqrt{p} \cdot \int_r^{r'} \frac{dr''}{u(r'')} \right] \frac{dr'}{u(r')} \right\} \times \exp[-\sqrt{p}(z-1)] \quad (108)$$

В частном случае $u(r) = -J/2r$ получим

$$T^{(1)u} = -\Lambda \frac{z^2}{2} \sqrt{p} T^{(0)u} + \frac{2}{J} \cdot \int_r^\infty F^u(r', p) \cdot \exp \left(-\frac{\chi \sqrt{p}}{J} \cdot (r'^2 - r^2) \right) r' dr', \quad (109)$$

$$T_1^{(1)u} = - \left\{ \Lambda \frac{z^2}{2} \sqrt{p} T^{(0)u} - \frac{2}{J} \cdot \int_r^\infty F^u(r', p) \cdot \exp \left(-\frac{\chi \sqrt{p}}{J} \cdot (r'^2 - r^2) \right) r' dr' \right\} \exp[-\sqrt{p}(z-1)]. \quad (110)$$

Вычисление оригиналов полученных выражений особых трудностей не представляет. В качестве примера приведем выражение для температурного профиля в центральном пласте для источника, сосредоточенного на цилиндрической поверхности в пространстве изображений

$$T^{(1)u} - T^{(1)u}(z=1) = -\Lambda \frac{z^2 - 1}{2} \sqrt{p} T^{(0)u} \quad (111)$$

и оригиналов

$$T^{(1)} - T^{(1)}(z=1) = -\frac{\Lambda}{\sqrt{\pi}} \frac{z^2 - 1}{2} \sqrt{\frac{J}{JFo - R^2 + r^2}} \exp \left(-\frac{\chi^2 (R^2 - r^2)}{4J(JFo - R^2 + r^2)} \right) \Phi(R-r). \quad (112)$$

Нетрудно показать, что при $p \rightarrow \infty$ все выражения для первого коэффициента разложения обращаются в нуль. Согласно теореме соответствия это означает, что первые коэффициенты разложения в начальный момент времени равны нулю. Отсюда следует, что

погранслой в окрестности точки области $Fo = 0$ отсутствует. Окончательные решения в пространстве оригиналов в первом приближении запишутся в виде

$$T = T^{(0)} + \varepsilon \frac{\lambda_{z1}}{\lambda_z} T^{(1)}, \quad T_1 = T_1^{(0)} + \varepsilon \frac{\lambda_{z1}}{\lambda_z} T_1^{(1)}. \quad (113)$$

Точное решение задачи. Покажем, что полученные выражения для первого приближения совпадают с разложением точного решения в ряд Маклорена. Для получения точного решения задачи (20) – (24) необходимо ввести новую переменную (40). Затем применено двумерное преобразование Лапласа – Карсона, которое осуществляет переход от переменных Fo и τ к параметрам p и s . Решение задачи в пространстве изображений имеет вид

$$T = \frac{Q^u}{s} \left(1 - \frac{\sqrt{p} \operatorname{ch}(z\sqrt{\varepsilon\Lambda s/\chi})}{\sqrt{p} \operatorname{ch}(\sqrt{\varepsilon\Lambda s/\chi}) + \sqrt{s/(\varepsilon\Lambda\chi)} \operatorname{sh}(\sqrt{\varepsilon\Lambda s/\chi})} \right), \quad (114)$$

$$T_1 = \frac{Q^u}{s} \left(1 - \frac{\sqrt{p} \operatorname{ch}(\sqrt{\varepsilon\Lambda s/\chi})}{\sqrt{p} \operatorname{ch}(\sqrt{\varepsilon\Lambda s/\chi}) + \sqrt{s/(\varepsilon\Lambda\chi)} \operatorname{sh}(\sqrt{\varepsilon\Lambda s/\chi})} \right) \exp[-\sqrt{p}(z-1)], \quad (115)$$

Разложив решение (109) в ряд Маклорена по переменной ε , получим следующие выражения для нулевого и первого коэффициентов

$$T^{(0)u} = \frac{Q^u}{s + \chi\sqrt{p}}, \quad T^{(1)\varepsilon} = \Lambda \frac{Q^\varepsilon}{2(s + \chi\sqrt{p})} \left(\chi \frac{(2 + \chi)p + s\sqrt{p}}{3(s + \chi\sqrt{p})} - \sqrt{p}z^2 \right). \quad (116)$$

Нетрудно убедиться, что выражения (116) являются результатом преобразования Лапласа – Карсона выражений (48) и (107) по переменной τ . Аналогично можно показать совпадение коэффициентов разложения для окружающей среды. Итак, полученные выражения для первого приближения совпадают с коэффициентами разложением точного решения в ряд Маклорена.

Тем не менее, представленные выше выражения для первого коэффициента разложения соответствуют реальным профилям температуры только для достаточно больших времен.

В отличие от первого приближения нулевое, как показано выше всегда соответствует осредненным значениям температуры и применимо для любых значений времени. На рис. 2 приведены радиальные распределения температуры источника, сосредоточенного на цилиндрической поверхности $R = 1$, при различных значениях конвективного параметра J в нулевом приближении (56). В расчетах принято $\chi = Fi_+ = Fo = R = 1$. Из рисунка следует, что вклад теплообмена пласта с окружающей средой существенен только при малых значениях конвективного параметра, а при $J > 10$ им можно пренебречь.

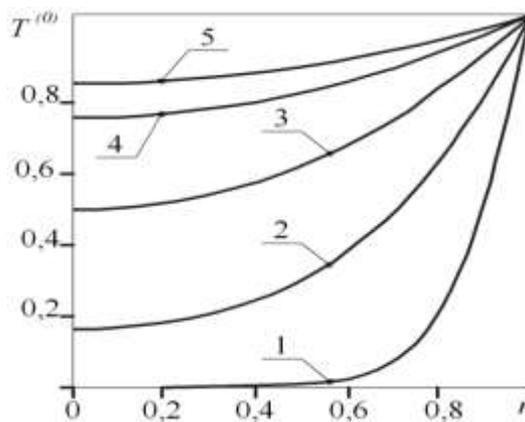


Рис. 2. Радиальные распределения температуры источника, сосредоточенного на цилиндрической поверхности $R = 1$, при различных значениях конвективного параметра J : 1 – $J = 0.2$; 2 – $J = 0.5$; 3 – $J = 1$; 4 – $J = 2$; 5 – $J = 3$.

Применение метода «в среднем точного» асимптотического параметра позволило получить аналитическое и точное решение о квазистационарном симметричном температурном поле, создаваемом источниками, находящимися в слое с учетом движения среды в нем.

Список обозначений: T_1 – безразмерная температура настилающего пласта; T_2 – безразмерная температура подстилающего пласта; T – безразмерная температура пористого нефтесодержащего пласта; ε – параметр асимптотического разложения; χ – безразмерный параметр, $\chi = \frac{c_1 \rho_1}{c \rho}$; Λ – безразмерный параметр, $\Lambda = \frac{\lambda_{z1}}{\lambda_z}$, θ_{11} – максимальный перепад температуры; $Q(r, Fo)$ – безразмерная функция источников тепла $\Theta_j^{(n)}$ – безразмерный остаточный член асимптотического разложения температуры.

Список литературы:

1. Иванников В.И. Новые идеи в нефтяной геологии // Инженер нефтяник. 2010. №3. С.31-36.
2. Чупров И.Ф., Канева Е.А. Приток к системе горизонтальных скважин в однородном пласте // Инженер нефтяник. 2011. №1. С.16-23.
3. Семёнов, А.А.; Киселев, В.М. Моделирование работы горизонтальных скважин в условиях неоднородности распределения свойств пласта // Техника и технология. 2011. Т.4, №4. С. 429-437.
4. Стефанюк Е.В., Кудинов В.А. Задачи теплопроводности для пластины, цилиндра и шара на основе определения фронта температурного возмущения // Тепловые процессы в технике, 2009. №4, С.137.
5. Филиппов А. И., Михайлов П. Н., Филиппов К. А., Салихов Р. Ф., Ковальский А. А. Использование баротермического эффекта для нагрева нефтяного пласта // Теплофизика высоких температур. 2009. №5, т.47. С.752 –764.
6. Филиппов А.И., Филиппов С.А. Термодинамика фильтрационных нефтегазовых потоков. Стерлитамак: Изд-во Стерлитамакс. гос. педагог. инст-та, 2002. 200 с.
7. Филиппов А. И. Скважинная термометрия переходных процессов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 116 с
8. Филиппов А. И., Михайлов П. Н., Ахметова О. В. Основная задача термокаротажа Теплофизика высоких температур, №5, Т. 44, 2006. С. 747–755.
9. Филиппов А.И., Михайлов П.Н., Иванов Д.В. Температурное поле радиоактивных изотопов в пористой среде // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48, № 1. С. 96 – 104.

А. В. Болдырев к.т.н., С. В. Болдырев, С. И. Харчук к.ф.-м.н., С. С. Харчук

Камская государственная инженерно-экономическая академия
кафедра «Теплоэнергетика и гидропневмоавтоматика»
Россия, г. Набережные Челны
alexeyboldyrev@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНИЦЫ ВХОДНОЙ ОБЛАСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТРЫВНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ

Исследовано влияние границы входной области на результаты численного моделирования осесимметричного квазистационарного отрывного турбулентного течения несжимаемого газа за диафрагмой. Используются 3 модели турбулентности и 3 конфигурации входной границы. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по распределению на стенке цилиндрического канала коэффициентов трения и давления.

Ключевые слова: входная граница, модель турбулентности, коэффициент трения, коэффициент давления, отрывное турбулентное течение.

Отрыв потока имеет важное значение в различных инженерных приложениях. Наличие отрыва может являться как негативным фактором (дополнительная потеря энергии, повышенный шум и вибрация, плохая управляемость), так и положительным (стабилизация процессов горения, интенсификация смешения и теплообмена). Поэтому ведутся интенсивные исследования таких течений экспериментальными и численными методами. Однако сложность явления отрыва: изменение величины и направления мгновенного значения поверхностного трения, перераспределение давления, изменение сопротивления, нестационарность течения и его трехмерность – требуют высокую технику измерений и тщательную проработку математической модели и постановки задачи (форма и размеры границ расчетной области, модели среды и турбулентности и т.д.) [3, 4]. В связи с этим авторами выполнено исследование влияния границы входной области на результаты моделирования отрывного турбулентного течения.

В данной работе объектом исследования выбрано дозвуковое отрывное турбулентное течение за диафрагмой с заостренными кромками (диаметр $D_1=40$ мм, толщина $a=4$ мм), установленной на входе в цилиндрический канал (диаметр $D_2=64$ мм, длина $L=460$ мм). Численное моделирование проведено в лицензионном программном пакете STAR-CCM+ 4.04.011. Для верификации модели течения использованы материалы экспериментальных исследований [1, 2].

На рис. 1 представлена схема расчетной области и выбранные граничные условия: 1-3 – входная граница с заданием массового расхода по известному числу Рейнольдса; 4 – выходная граница с определением нулевого избыточного статического давления; 5 и 6 – стенки канала и диафрагмы соответственно (с условиями «прилипания» и «непроницаемости»); 7 – ось симметрии.

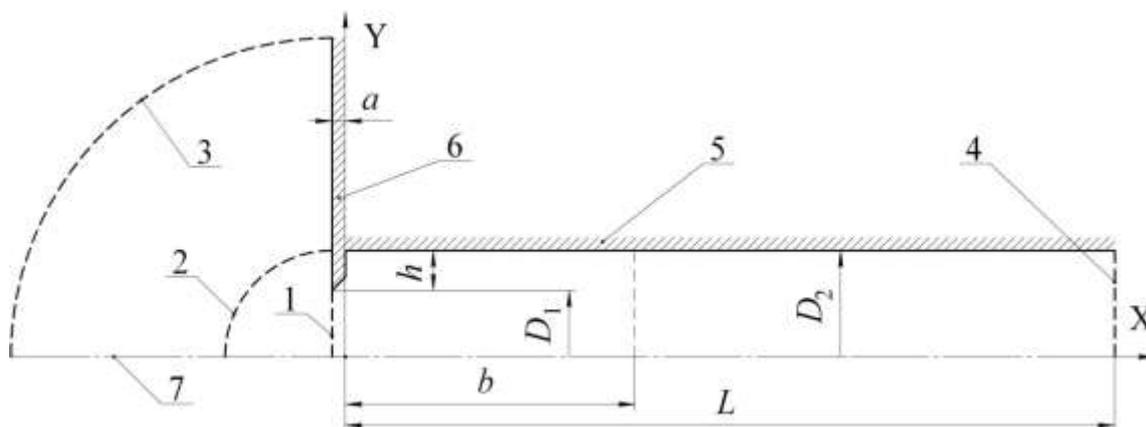


Рис. 1– Схема расчетной области и граничные условия.

Для достижения цели работы применены 3 варианта исполнения входной границы: №1 – входом является сечение диафрагмы, №2 и №3 – вход «отодвинут» от диафрагмы против потока с помощью дуги окружности радиусом 32 мм и 96 мм соответственно (для получения исходного потока с более достоверными параметрами, так как в натурном эксперименте всасывание воздуха происходило из неограниченного пространства).

Исследования проведены при числе Рейнольдса $Re = V_2 \cdot D_2 / \nu = 72541$, определенном по среднерасходной скорости в канале V_2 и кинематическому коэффициенту вязкости ν [1, 2]. Параметры турбулентности на границах 1-4 оставлены заданными в STAR-CCM+ по умолчанию: интенсивность турбулентности 1% и относительная турбулентная вязкость 10.

Для математического описания осесимметричного квазистационарного турбулентного движения жидкости использованы осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса и неразрывности. Для замыкания системы уравнений в данной работе протестированы 3 модели турбулентности (в двух последних вариантах рейнольдсовы напряжения определены при помощи гипотезы Буссинеска):

1) стандартная квадратичная низкорейнольдсовая $k - \varepsilon$ модель (Lien, Chen, Leschziner) с нелинейной связью тензоров рейнольдсовых напряжений и скоростей деформаций осредненного течения («Quadratic K-Epsilon»);

2) низкорейнольдсовая SST $k - \omega$ модель (Menter) («SST K-Omega»);

3) двухслойная Realizable $k - \varepsilon$ модель (Shih, Liou, Shabbir) с гибридными пристеночными функциями («Realizable K-Epsilon»).

Решение дифференциальных уравнений в программном пакете STAR-CCM+ осуществлено на основе метода контрольных объемов и многосеточного алгоритма.

Критериями сходимости выбраны: уровень среднеквадратичных невязок не выше 10^{-4} и стабилизация давления на входной границе.

Дискретизация расчетной области произведена с помощью структурированных ортогональных сеток, состоящих из квадратных ячеек со стороной 1 мм (от 19580 до 27674 ячеек при разных конфигурациях входной границы). Вблизи стенок применены постепенно изменяющие толщину слоя призматических ячеек со следующими размерами: толщина 1-го пристеночного слоя 0.02 мм; общая толщина слоев 0.5 мм; коэффициент сгущения 1.2; число слоев 10. Измельчение сетки для расчета течения в ламинарном подслое выполнено с соблюдением условия по универсальному безразмерному параметру $y^+ \leq 1$ (низкорейнольдсовая модель).

Анализ результатов численного моделирования и их сравнение (рис. 2-4) с данными натурных экспериментов [1, 2] проведен по распределениям на стенке канала коэффициентов давления

$$C_p = \frac{p - p_b}{0.5 \cdot \rho \cdot V_2^2} \quad (1)$$

и трения

$$C_f = \frac{\tau_w}{0.5 \cdot \rho \cdot V_2^2}, \quad (2)$$

где τ_w – касательное напряжение на стенке, p – избыточное статическое давление, ρ – плотность, p_b – избыточное статическое давление в поперечном сечении канала, расположенном на расстоянии $b=20$ мм [1,2] от стенки диафрагмы (рис. 1). По мгновенной величине коэффициента трения можно оценить мгновенное положение точек (линий) отрыва и присоединения потока [3, 4].

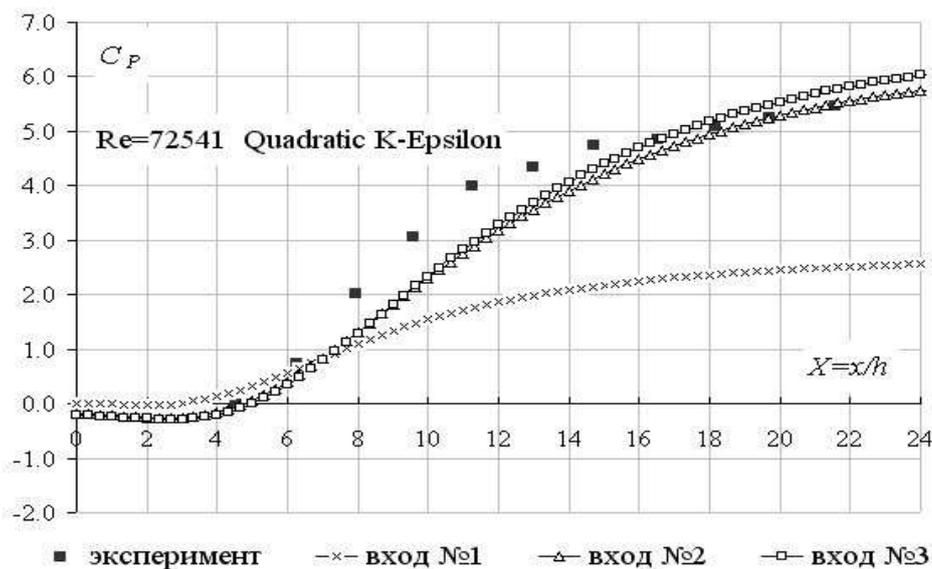


Рис. 2– Влияние границы входной области на распределение коэффициента давления на стенке 5 для модели Quadratic K-Epsilon.

Для всех задействованных моделей турбулентности использование «отодвинутых» границ №2, №3 привело к хорошему качественному предсказанию распределения давления, при этом количественно лучший результат позволила получить модель Quadratic K-Epsilon (рис. 2).

Аналогично, применение входов №2 и №3 позволило точнее предсказать длину отрывной области и величину коэффициента трения: в первом случае оптимальный результат обеспечила модель Quadratic K-Epsilon (рис. 3), а во втором - Realizable K-Epsilon (рис. 4).

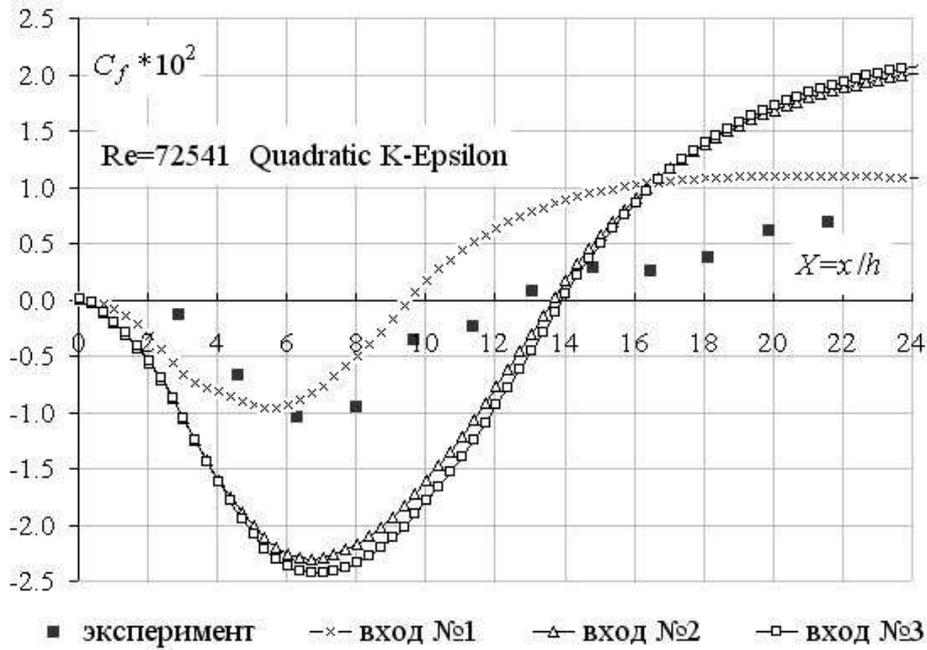


Рис. 3– Влияние границы входной области на распределение коэффициента трения на стенке 5 для модели Quadratic K-Epsilon.

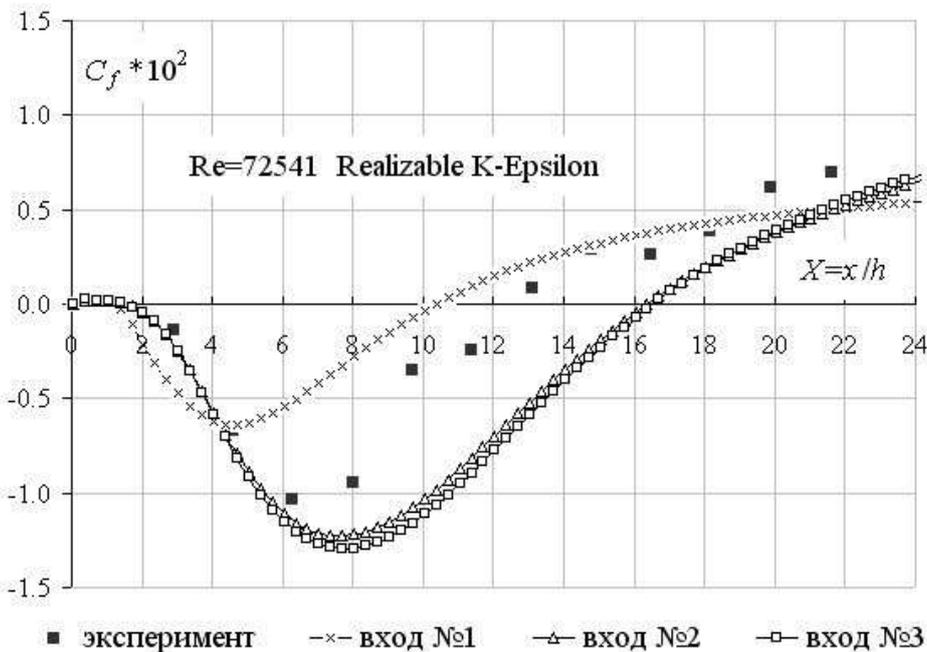


Рис. 4– Влияние границы входной области на распределение коэффициента трения на стенке 5 для модели Realizable K-Epsilon.

Замечено, что при данных качестве и размерности сетки наименее удачно использование модели турбулентности SST K-Omega.

Таким образом, «удаление» границ оказало положительный эффект на качество расчетов течения для всех моделей турбулентности.

По полученным данным нельзя рекомендовать выбор границы №2 или №3, так как для них результаты практически совпадают. Но очевидно, что предпочтительнее граница №2 из-

за меньшего количества ячеек расчетной сетки. Поэтому необходимо провести дополнительные исследования с целью оптимизации размеров границы входной области.

Список литературы:

1. *Давлетшин И.А.* Гидродинамические и тепловые процессы в пульсирующих турбулентных потоках: дис. докт. техн. наук. – Казань, 2009. – С. 194-218.

2. *Давлетшин, И.А.* Отрыв пульсирующего потока / И.А. Давлетшин, Н.И. Михеев, В.М. Молочников // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 417, № 6. – С. 760-763.

3. *Михеев Н.И.* Пространственно-временная структура турбулентных отрывных течений: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Казань, 1998. – 46 с.

4. *Сухоруков О.В.* Турбулентный отрыв потока в условиях гидродинамической нестационарности: дис. канд. техн. наук. – Казань, 2002. – С. 9-13.

Д. Р. Гильмиев

Тюменский Государственный Университет
Институт математики, естественных наук и информационных технологий
кафедра механики многофазных систем
Россия, г. Тюмень
gilmievdr@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБВОДНЕНИЯ СКВАЖИН ПЕРЕСЕЧЕННЫХ ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Рассмотрен процесс обводнения скважины с трещиной гидроразрыва пласта (ГРП). Исследованы особенности движения фронта вытесняющей жидкости в пласте при наличии техногенных трещин.

Ключевые слова: моделирование, численные методы, гидрозарыв пласта, многофазная фильтрация.

Гидравлический разрыв пласта в настоящее время является самым эффективным методом повышения нефтеотдачи и интенсификации притока. В связи с вовлечением в разработку трудноизвлекаемых запасов нефти и газа проблема использования гидроразрыва стала особенно актуальна.

Для количественного определения эффекта ГРП необходимо рассмотреть совместное движение флюидов как в пласте так и самой трещине. В связи с этим предлагается данную, сопряженную, задачу разделить на две под задачи: внешнюю, обеспечивающей движение флюидов в пласте и приток к трещине, и внутренней, описывающей процесс движение жидкости в нутрии трещины.

Процесс фильтрации двухфазной жидкости в пласте (внешняя задача) описывается системой уравнений Маскета–Мереса [2]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kf_o}{\mu_o} \rho_o \frac{\partial p_o}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kf_o}{\mu_o} \rho_o \frac{\partial p_o}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{kf_o}{\mu_o} \rho_o \frac{\partial p_o}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (mS_o \rho_o) \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kf_w}{\mu_w} \rho_w \frac{\partial p_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kf_w}{\mu_w} \rho_w \frac{\partial p_w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{kf_w}{\mu_w} \rho_w \frac{\partial p_w}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (mS_w \rho_w) \quad (2)$$

При этом предполагается что пласт, первоначально насыщен нефтью и удерживаемой капиллярно (связанной) водой. В рамках данной задачи будем считать, что массообмен между фазами не происходит.

Система уравнений (1-2) решается численно с использованием стандартной семиточечной аппроксимация по координатной сетке (рис.1) и явно-неявную по времени.

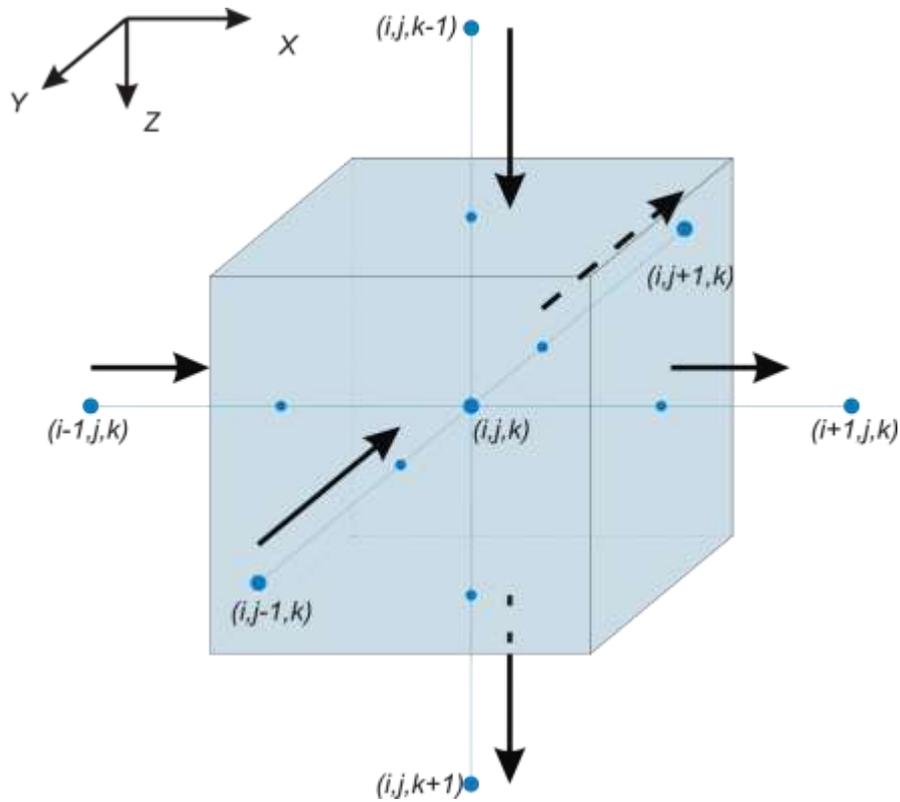


Рис. 1 – Семиточечная схема аппроксимации по координатной сетке.

После дискретизации системы (1-2), уравнения для давления принимают вид:

$$a_{i+0.5,j,k}^{n+1} P_{i+1,j,k}^{n+1} + a_{i-0.5,j,k}^{n+1} P_{i-1,j,k}^{n+1} + a_{i,j+0.5,k}^{n+1} P_{i,j+1,k}^{n+1} + a_{i,j-0.5,k}^{n+1} P_{i,j-1,k}^{n+1} + a_{i,j,k+0.5}^{n+1} P_{i,j,k+1}^{n+1} + a_{i,j,k-0.5}^{n+1} P_{i,j,k-1}^{n+1} + a_{i,j,k}^{n+1} P_{i,j,k}^{n+1} = b_{i,j,k}^n \quad (3)$$

уравнение для водонасыщенности:

$$S_{i,j,k}^{n+1} = S_{i,j,k}^n - \frac{dt \cdot L_{i,j,k}^{n+1}}{V_{i,j} m} \quad (4)$$

Где $L_{i,j}^{n+1}$ – вспомогательный разностный оператор представляющий разность потоков водной фазы.

Систему уравнений (3) можно разрешить относительно давления при известных насыщенностях одним из итерационных методов. Затем с использованием уравнения (4) явным методом находятся насыщенности. Использованный метод разделения исходной системы на уравнение для давления и уравнение для насыщенности называется IMPES-методом [1] (Implicit Pressure Explicit Saturation)

Для учета трещины, в численной модели пласта, в каждой ячейки внешней сетки, помещается источник/сток (рис.2)

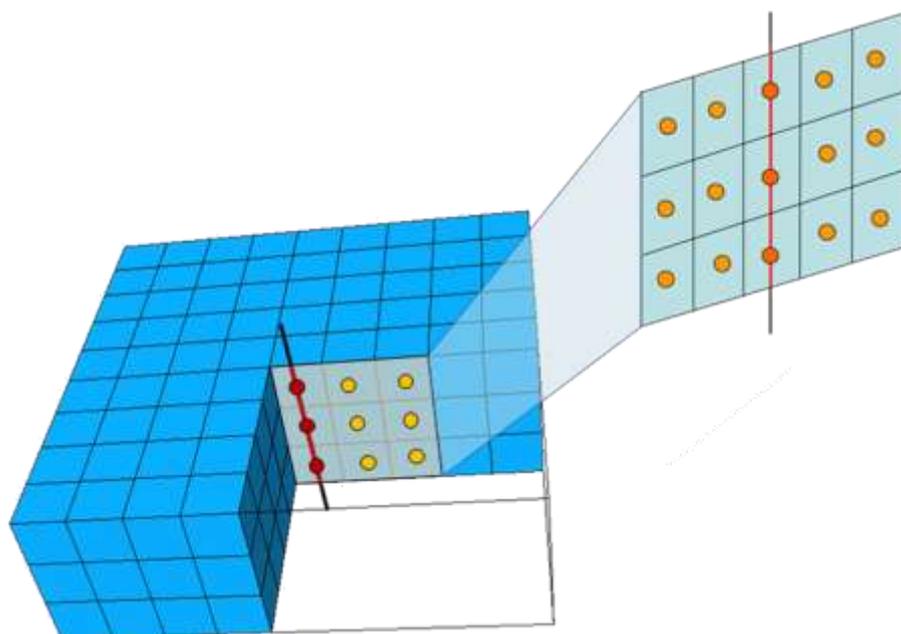


Рис. 2 – Схематическое представление расщепленной модели.

Процесс фильтрации жидкости в трещине высокой проводимости (внутренняя задача), в рамках сопряженной задачи (сопоставление временных масштабов процессов фильтрации в пористой среде и в трещине ГРП), подчиняется двумерному уравнению Лапласа [3].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \rho_{жс} \bar{g} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right) = Q_o + Q_w \quad (5)$$

Дискретизации уравнения (5) проводится аналогично уравнению (3):

$$a_{i+0.5,j} P_{i+1,j}^{n+1} + a_{i-0.5,j} P_{i-1,j}^{n+1} + a_{i,j+0.5} P_{i,j+1}^{n+1} + a_{i,j-0.5} P_{i,j-1}^{n+1} + a_{i,j} P_{i,j}^{n+1} = (Q_o^{l,n+1} + Q_w^{l,n+1}) \quad (6)$$

Правая часть уравнения (5) представляет сумму источников/стоков нефтяной и водной фазы поступающая из пласта (внешняя задача) в трещину (внутренняя задача).

Совмещение двух подзадач основано на равенстве потоков между поровой матрицей и трещиной. Уравнение (6) решается полностью неявно совместно с уравнениями описывающими процесс фильтрации внешней задачи (3-4).

В качестве примера рассмотрен случай нагнетания в пласт воды посредством одной нагнетательной скважины и отбор жидкости через добывающую скважину пересеченную трещиной ГРП, в первом случае трещина конечной проводимости, во втором бесконечной. Параметры моделируемой системы представлены в таблице ниже.

Таблица – Параметры моделируемой системы

Параметр	Значение	Ед.измерени
Размерность модели	50x50x4	ед.
Размер ячеек	30x30x0,4	м
Глубина залегания	2000	м
Пористость	0,15	д.ед
Проницаемость	30	мД
Вязкость нефти	4	мПа*с
Вязкость воды	1	мПа*с
Начальное пластовое давление	20	МПа
Начальная водонасыщенность	0,4	д.ед

Полудлина трещины	300	м
Раскрытость трещины	5	мм
Проницаемость трещины	250	мД
Забойное давление добывающей скважины	8	МПа
Забойное давление нагнетательной скважины	25	МПа

До момента прорыва, фронт воды в случае с трещиной бесконечной проводимости движется быстрее, но после прорыва, фронт движется быстрее уже в случае с трещиной конечной проводимости (рис. 3-4). Данный процесс объясняется разностью давления в нутрии трещины: в случае конечной проводимости давление по трещине распределяется

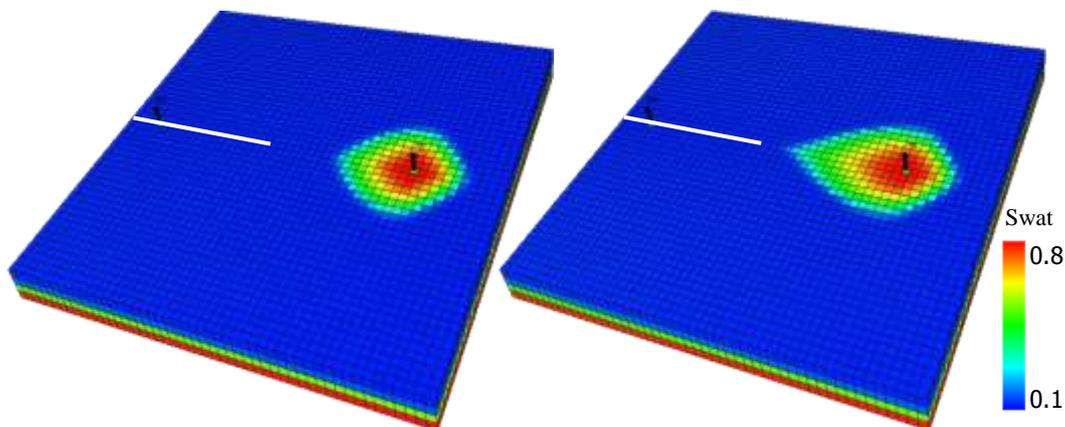


Рис. 3 – Поле распределения водонасыщенности 5 лет закачки. Слева трещина конечной проводимости справа бесконечной.

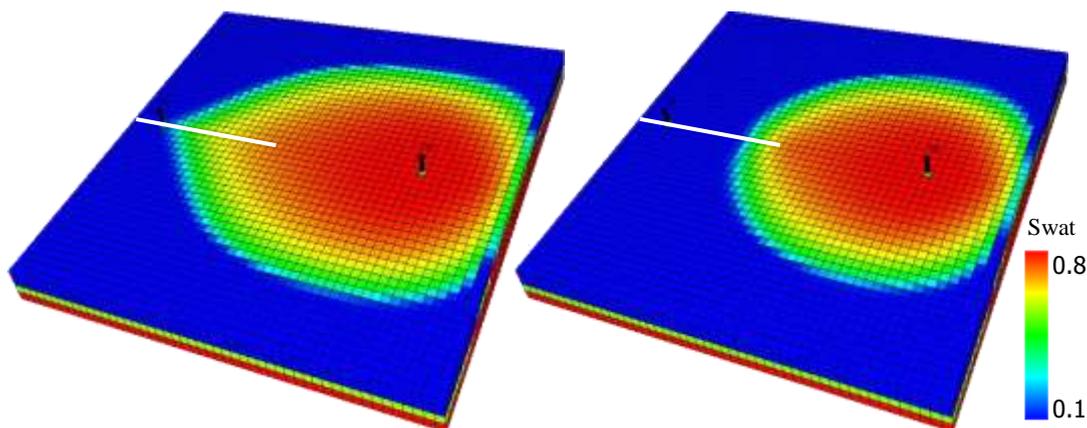


Рис. 4 – Поле распределения водонасыщенности на момент обводненности 70%.

Слева трещина конечной проводимости справа бесконечной согласно (5), а в случае бесконечной проводимости по всей трещине задается давление равное забойному в скважине. Следовательно X-я составляющая (ось OX направлена вдоль трещины) градиента давления вокруг трещины бесконечной проводимости минимальна, в отличие трещин с конечной проводимостью.

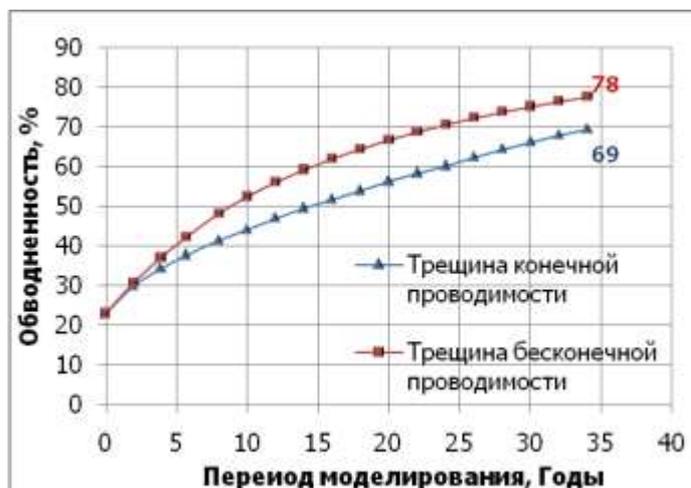


Рис. 5 – Обводненность скважины пересеченной искусственной трещиной.

Обводненность скважин является одним из основных индикаторов, контролируемых при эксплуатации залежи нефти. Данный параметр характеризует совокупность факторов, определяющих эффективность разработки месторождения в целом.

Выводы:

1. Учет техногенных трещин, при фильтрации жидкости, значительно влияет на динамику обводнения скважин.
2. Использование трещин с бесконечной проводимостью приводит к искажению фронта насыщенности.

Список литературы:

1. Азиз Х., Сеттари Э., Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982. – 407 с.
2. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. – М.-Ижевск: ИКИ, 2006. – 488 с.
3. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. – ООО "Недра-Бизнесцентр", 1999. – 212 с.

Д. Л. Егоров, С. А. Кузнецов к.ф.-м.н.

Казанский (Приволжский) федеральный университет
механико-математический факультет, кафедра теоретической механики
Россия, г. Казань
egorov-dl2008@rambler.ru

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ СО ШТАМПАМИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

В работе представлена методика и результаты численно-аналитического решения задачи контактного взаимодействия круглых пластин с жесткими штампами различных форм. Для реализации расчетной схемы написана компьютерная программа. Получены поля распределения контактных напряжений для ряда частных случаев.

Ключевые слова: контактная задача, численное решение, система уравнений, формула Гаусса.

При работе с реальной конструкцией возникает проблема сложного взаимодействия ее элементов между собой, а также с другими объектами. Это может быть непосредственный контакт тел в результате прижатия к опоре, сварочного или клеевого соединения и т.д. Учесть влияние таких взаимодействий позволяет решение соответствующих контактных задач.

Не всегда есть возможность получить решение контактной задачи в аналитическом виде. С развитием информационных технологий приобрели актуальность численные методы, реализованные посредством компьютерных программ. В данной работе мы приводим результаты численно-аналитического решения задачи о вдавливании жестких штампов различных форм в круглую пластину, покоящуюся на упругом винклеровом основании (рис. 1.).

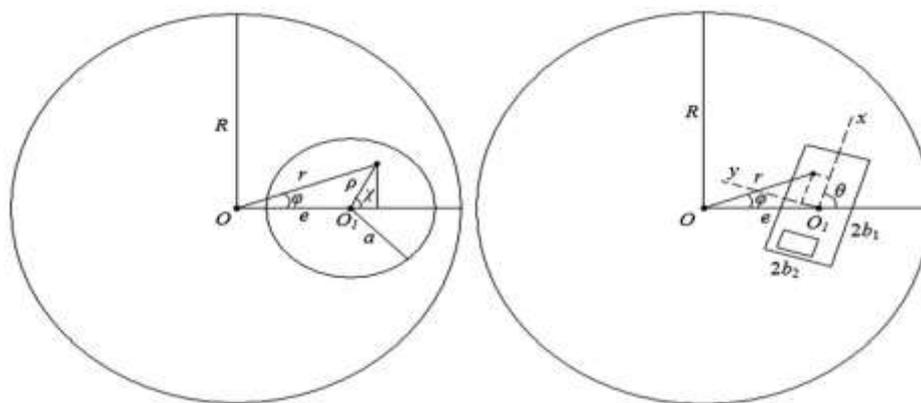


Рис. 1. Постановка задачи для круглого и прямоугольного штампа с вырезами.

Согласно корректной постановке контактных задач для тонкостенных элементов конструкций [1] условия контакта поверхности штампа и пластины записываются [2] в виде интегрального уравнения Фредгольма второго рода

$$k_0 \sigma(r, \varphi) + \iint_{\Omega} G(r, \varphi, \xi, \eta) \sigma(\xi, \eta) d\Omega = f(r, \varphi), \quad (r, \varphi), (\xi, \eta) \in \Omega, \quad (1)$$

Здесь $\sigma(r, \varphi)$ – неизвестное контактное давление, $G(r, \varphi, \xi, \eta)$ – функция влияния, k_0 – коэффициент обжатия, $f(r, \varphi)$ – функция формы и жесткого смещения штампа.

Функция влияния для пластины, лежащей на упругом основании с одним коэффициентом постели k , является (при заданных граничных условиях) решением уравнения

$$\nabla^4 G(r, \varphi, \xi, \eta) + \lambda^4 G(r, \varphi, \xi, \eta) = \frac{1}{D\xi} \delta(r - \xi, \varphi - \eta) \quad (2)$$

где $\lambda^4 = \frac{k}{D}$, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона.

Решение уравнения (2) ищется в виде ряда Фурье

$$G(r, \varphi, \xi, \eta) = \sum_{n=0}^{\infty} {}'G_n(r, \xi) \cos(\varphi - \eta), \quad (3)$$

где символ \sum' означает, что при $n=0$ вводится коэффициент $1/2$.

В интервале $(-\pi, \pi)$ δ -функция представима рядом Фурье

$$\delta(\varphi - \eta) = \frac{1}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} {}'\cos n(\varphi - \eta) \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в (2), получим уравнение

$$(\nabla_n^4 + \lambda^4)G_n(r, \xi) = \frac{1}{\pi D \xi} \delta(r - \xi), \quad n = 0, 1, \dots \quad (5)$$

Задача построения функции влияния сводится к двум уравнениям Бесселя:

$$\frac{d^2 G_{1n}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dG_{1n}}{dr} + (i\lambda^2 - \frac{n^2}{r^2})G_{1n} = -\frac{1}{2i\lambda^2 \pi D \xi} \delta(r - \xi) \quad (6)$$

$$\frac{d^2 G_{2n}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dG_{2n}}{dr} - (i\lambda^2 + \frac{n^2}{r^2})G_{2n} = \frac{1}{2i\lambda^2 \pi D \xi} \delta(r - \xi) \quad (7)$$

Постоянные интегрирования для этих уравнений должны быть определены из условий на контуре пластины. Например, для свободного края граничные условия имеют вид:

$$\nabla_n^2 G_n + \frac{\nu-1}{r} \left(\frac{d}{dr} - \frac{n^2}{r} \right) G_n = 0, \quad \frac{d\nabla_n^2 G_n}{dr} + \frac{1-\nu}{r^2} \left(\frac{d}{dr} - \frac{1}{r} \right) G_n = 0; \quad (8)$$

для заделки:

$$G = 0, \quad \frac{dG}{dr} = 0; \quad (9)$$

для шарнирного закрепления:

$$G = 0, \quad \nabla_n^2 G_n + \frac{\nu-1}{r} \left(\frac{d}{dr} - \frac{n^2}{r} \right) G_n = 0, \quad (10)$$

где $\nabla_n^2 = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} - \frac{n^2}{r^2}$.

Вид общих решений уравнений (6), (7) известен [3]. С учетом условия ограниченности прогиба в центре пластины и особенности поведения цилиндрических функций при $r \rightarrow 0$, общее решение однородного уравнения, соответствующего уравнению (5), записывается в виде

$$G_o = C_1 J_n(\sqrt{i}\lambda r) + C_2 I_n(\sqrt{i}\lambda r),$$

где C_1 и C_2 – неизвестные константы.

Частные решения уравнений (6), (7) найдем с помощью интегрального преобразования Ганкеля [4], с учетом свойств которого, а также с учетом фильтрующих свойств δ -функции получим образы функций \tilde{G}_{1n} , \tilde{G}_{2n} . Обращая преобразование и складывая получившиеся оригиналы функций, получим:

$$\tilde{G}_n(r, \xi) = \frac{1}{2\pi i \lambda^2 D} \begin{cases} v_n(\lambda r) f_n(\lambda \xi) - u_n(\lambda r) g_n(\lambda \xi), & 0 \leq r \leq \xi \\ v_n(\lambda \xi) f_n(\lambda r) - u_n(\lambda \xi) g_n(\lambda r), & \xi \leq r \end{cases}$$

где $u_n(z) = ber_n(z)$, $v_n(z) = -bei_n(z)$, $f_n(z) = -hei_n(z)$, $g_n(z) = her_n(z)$ – функции Кельвина [3].

Таким образом, общее решение уравнения (5) есть

$$G_n(r, \xi) = C_{1n}(\xi) u_n(\lambda r) + C_{2n}(\xi) v_n(\lambda r) + \frac{1}{2\lambda^2 D} \begin{cases} v_n(\lambda r) f_n(\lambda \xi) - u_n(\lambda r) g_n(\lambda \xi), & 0 \leq r \leq \xi \\ v_n(\lambda \xi) f_n(\lambda r) - u_n(\lambda \xi) g_n(\lambda r), & \xi \leq r \end{cases}$$

Уравнение (1) решается численно. Область контакта покрывается сеткой топологических прямоугольников, в каждом из которых проводится интегрирование с помощью квадратурной формулы Гаусса. Проблема определения значений контактного давления в узлах сетки сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений.

Так как функция влияния найдена в системе координат, связанной с пластиной, для упрощения описания области интегрирования осуществляется переход к системе координат, связанной со штампом (рис. 1).

Дискретный аналог уравнения (1) имеет для круглого штампа вид

$$k_0 \sigma(r_{spq}, \varphi_{tpq}) + \sum_{k=1}^{h_r} \sum_{l=1}^{h_\varphi} (b_{kl} - a_{kl})(d_{kl} - c_{kl}) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G(r_{spq}, \varphi_{tpq}, \xi_{ikl}, \eta_{jkl}) \sigma(r_{ikl}, \varphi_{jkl}) \xi_{ikl} A_i A_j = \gamma; \quad (11)$$

для прямоугольного штампа – вид

$$k_0 \sigma(x_{spq}, y_{tpq}) + \sum_{k=1}^{h_x} \sum_{l=1}^{h_y} (b_{kl} - a_{kl})(d_{kl} - c_{kl}) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G(x_{spq}, y_{tpq}, \xi_{ikl}, \eta_{jkl}) \sigma(x_{ikl}, y_{jkl}) A_i A_j = \gamma. \quad (12)$$

В приведенных выше формулах приняты обозначения: γ – жесткое смещение штампа; A_i – весовые множители квадратурной формулы Гаусса; h_r , h_φ – шаг разбиения сетки по радиусу и углу соответственно для круглого штампа; h_x , h_y – шаг разбиения сетки по оси абсцисс и оси ординат соответственно для прямоугольного штампа; n – количество точек в квадратурной формуле Гаусса.

В случае, когда рассматривается прямоугольный штамп, имеющий вырезы, система (12) составляется с учетом отсутствия контактных напряжений внутри вырезов. Соответствующие слагаемые в ее уравнениях не должны участвовать. Таким образом, число неизвестных равно числу уравнений.

Для составления и решения систем уравнений (11) и (12) написана программа для ЭВМ. Сходимость расчетной схемы устанавливалась на основе численных экспериментов.

Исследовано распределение контактных напряжений в зависимости от относительного размера штампа, эксцентриситета его положения, угла поворота и условий (8)–(10) закрепления пластины. При проведении расчетов принималось: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0.3$, $\kappa = 2 \cdot 10^8$ Н/м³, $h/R = 0.05$. Ниже на рис. 2, 3 представлены поля распределения безразмерных напряжений для двух частных случаев.

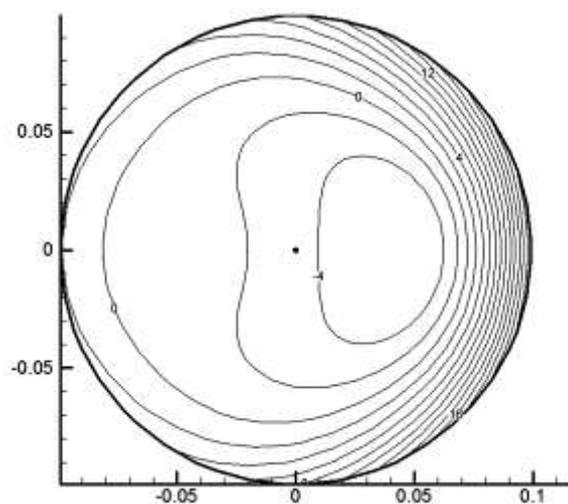


Рис. 2 – Круглый штамп. Эксцентриситет $e/R=0.7$. Края пластины жестко закреплены.

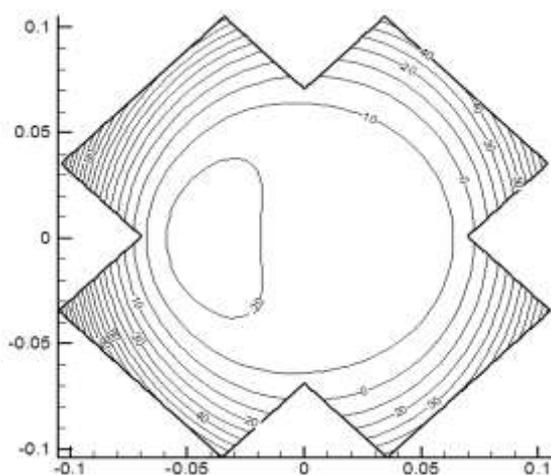


Рис. 3 – Крестообразный штамп. Эксцентриситет $e/R=0.7$. Края пластины свободны. Угол поворота $\pi/4$.

Список литературы:

1. Карасев С.Н., Артюхин Ю.П. Влияние поперечного сдвига и обжатия на распределение контактных напряжений // Исследования по теории пластин и оболочек. – 1976. – № 12. – С. 68–76.
2. Кузнецов С. А. Неосесимметричная контактная задача для тонкой пластины, лежащей на упругом основании, при наличии износа // Исследования по теории пластин и оболочек – 1984. – № 17, Ч. II. – С. 96–103.
3. Корнев Б. Г. Некоторые задачи теории упругости и теплопроводности, решаемые в бесселевых функциях. – М.: Государственное издательство физико–математической литературы, 1960. – 460 с.
4. Диткин В. А., Прудников А. П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука» 1974. – 544 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.01

Н. В. Баранова к.х.н., А. Н. Семенов к.х.н., М. А. Феофанова к.х.н., Ю. В. Францева

Тверской Государственный университет
химико-технологический факультет
кафедра неорганической и аналитической химии
Россия, г. Тверь
m000371@tversu.ru

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 гг.». Номер конкурса НК-595П.

СМЕШАНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОНОВ Cu^{2+} и Ni^{2+} С ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫМ ГЕПАРИНОМ И НЕКОТОРЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ

В данной работе авторы рассматривают результаты исследования металл-ионного равновесия в системах ион-металла-гепарин-аминокислота. Для идентифицированных комплексных форм авторы установили стехиометрию и рассчитали десятичные логарифмы констант их образования.

Ключевые слова: гепарин, аминокислота, комплексные соединения, константы образования.

За последние три с лишним десятилетия в химии углеводов отмечен небывалый прогресс. В том числе и в биокоординационной химии металлокомплексов моно- и полисахаридов. В этом отношении процессы, связанные с образованием молекулярных и металлокомплексов гепарина – естественного антикоагулянта плазмы крови, одновременно являющимся наиболее востребованным противосвертывающим препаратом, в должной мере в литературе не освещены.

Гепарин – клинически востребованный эндогенный противосвертывающий препарат, по своей химической природе, относящийся к классу гликозамингликанов, мономерное звено которого образовано связанными в α -(1→4) положении остатками L-идурановой кислоты (IdoA) и D-гликозамина (D-GlcN) – 4-L-IdoA2S- α -4-D-GlcNS,6S- α -1 (рис. 1).

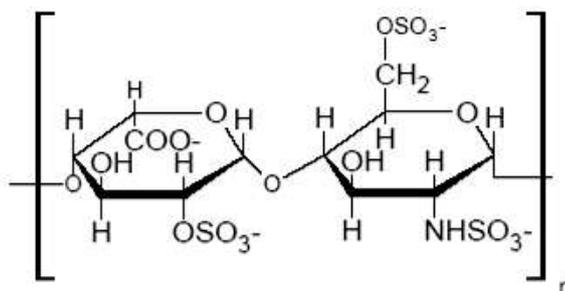


Рис. 1. Структурная формула мономерного дисахаридного звена гепарина состава 4-L-IdoA2S- α -4-D-GlcNS,6S- α -1.

Плазма крови – многокомпонентный водный раствор, содержащий, кроме многочисленных эндогенных низко- и высокомолекулярных лигандов, также и широкий спектр ионов металлов: макроионов с концентрациями порядка 10^{-3} М (Ca^{2+} , Mg^{2+}), ионов

биометаллов – микроионов d-элементов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}), а также индикаторные количества некоторых ионов лантаноидов.

Результаты исследования кислотно-основных свойств гепарина различных молекулярных масс с помощью метода рН-метрического титрования и математического моделирования приведены в [1]. В работе [2] приведены результаты экспериментальных исследований процессов комплексообразования ионов s-, d- и f-элементов с высокомолекулярным гепарином. Определен состав и стехиометрия идентифицированных комплексных форм, рассчитаны величины десятичных логарифмов соответствующих констант образования. Наиболее спорными и в то же время интересными являются работы [3, 4], посвященные расчетам металл-ионных равновесий в сложных многокомпонентных системах, включающих помимо полимерного лиганда гепарина и ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} также и эндогенные аминокислоты – глицин и аргинин. Авторам удалось установить стехиометрию, а также оценить величины десятичных логарифмов констант образования молекулярных комплексов гепарина с указанными выше аминокислотами.

Логичным продолжением обозначенной тематики выступает и представленная работа, посвященная исследованию металл-ионных равновесий в сложных многокомпонентных системах, включающих полимерный лиганд гепарин, ионы Cu^{2+} и Ni^{2+} , а также эндогенные аминокислоты глицин и аргинин.

Экспериментальная часть

В качестве исходного препарата гепарина выступал стандартный фармакологический раствор его тетранатриевой соли (Na_4Hep), содержащий 5000 ЕД в каждом миллилитре, произведенный ФГУП «Московский эндокринный завод». Растворы хлоридов меди (II) и никеля (II) готовили из соответствующих солей с последующей стандартизацией растворов методом комплексометрического титрования. Стандартный раствор хлороводородной кислоты готовили из фиксанала. В качестве титранта выступал бескарбонатный раствор щелочи. Постоянство температуры титруемых растворов поддерживали с помощью ультратермостата UTU-2/77 с точностью до 0.1 градуса. Регистрацию величины рН осуществляли с помощью универсального иономера И-135, укомплектованного измерительным стеклянным электродом ЭСЛ 63-07 и насыщенным хлоридсеребряным электродом сравнения. Калибровку прибора осуществляли с помощью стандартных буферных растворов с величинами рН, равными 1.65 и 9.18, с учетом поправки на температуру. Титрование проводилось на фоне 0.15 М хлорида натрия. Металл-ионные равновесия моделировали с помощью универсальной компьютерной программы AUTOEQUIL [5], алгоритм которой реализует стратегию автоматизированного поиска набора равновесий, адекватно описывающего экспериментальные данные. Принципы построения математической модели химических равновесий с участием полимерного лиганда гепарина изложены в [1].

Результаты и их обсуждение

На рис.2а и рис.2б представлены диаграммы распределения комплексных форм в системах Cu^{2+} - Na_4Hep - H_3Arg^+ - NaCl - H_2O и Cu^{2+} - Na_4Hep - H_2Gly^+ - NaCl - H_2O при эквимолярном соотношении $\text{M}:\text{L}_1:\text{L}_2$. Как видно из приведенных диаграмм распределения, в обоих случаях зафиксировано образование значимых по концентрации смешаннолигандных комплексных форм различной степени протонирования.

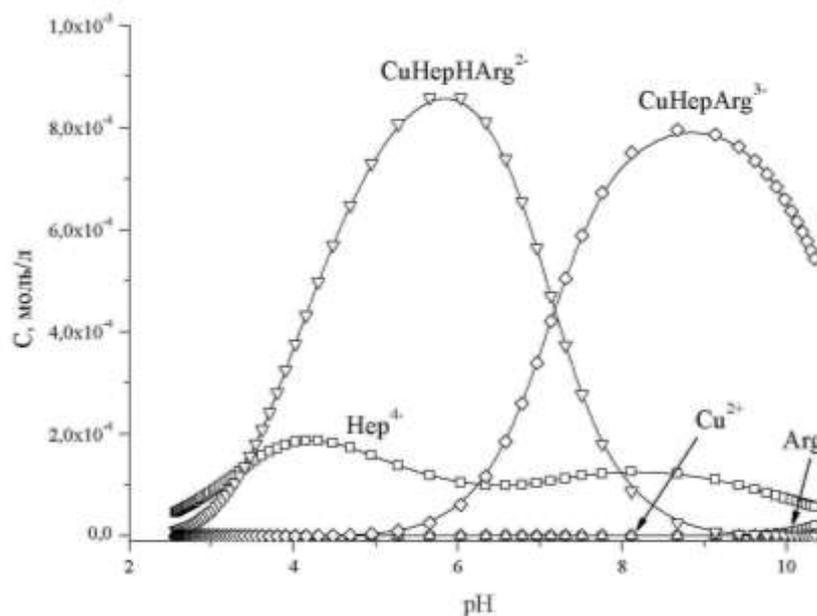


Рис.2а. Диграмма распределения комплексных форм в системе $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}_4\text{Hep} - \text{H}_3\text{Arg}^+ - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ при эквимольном соотношении $\text{M}:\text{L}_1:\text{L}_2$.

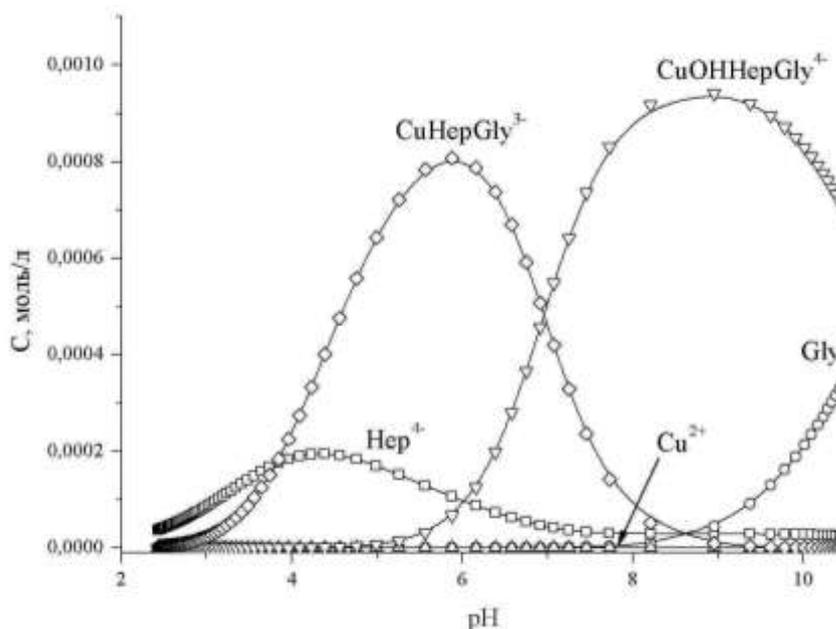


Рис.2б. Диграмма распределения комплексных форм в системе $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}_4\text{Hep} - \text{H}_2\text{Gly}^+ - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ при эквимольном соотношении $\text{M}:\text{L}_1:\text{L}_2$.

В случае взаимодействия ионов меди (II) с гепарином и глицином при $\text{pH} > 7$ отмечается образование смешаннолигандного гидрокосокомплекса состава CuOHGlyHep^{4-} постепенно разрушающегося с ростом величины pH .

На рис.3а и рис.3б представлены диаграммы распределения комплексных форм в системах $\text{Ni}^{2+} - \text{Na}_4\text{Hep} - \text{H}_3\text{Arg}^+ - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ni}^{2+} - \text{Na}_4\text{Hep} - \text{H}_2\text{Gly}^+ - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ при эквимольном соотношении $\text{M}:\text{L}_1:\text{L}_2$. Следует отметить, что по сравнению с ионами Cu^{2+} число смешаннолигандных комплексных форм, образуемых ионами Ni^{2+} с гепарином и аминокислотами, ниже. Как видно из рис.3а, в сильнощелочной области не наблюдается образование комплексной формы состава NiL_1L_2 , а происходит постепенное снижение

равновесной концентрации формы NiHepHArg^{2-} . Существенные различия в моделях комплексообразования также можно выявить, сопоставляя рис.26 и рис.36.

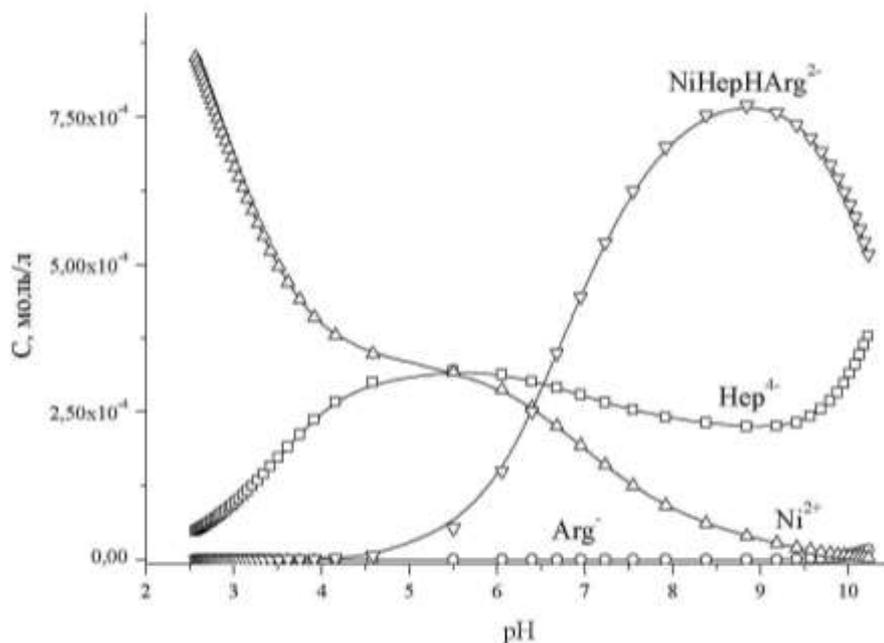


Рис.3а. Диграмма распределения комплексных форм в системе $\text{Ni}^{2+} - \text{Na}_4\text{Hep} - \text{H}_3\text{Arg}^+ - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ при эквимольном соотношении $\text{M}:\text{L}_1:\text{L}_2$.

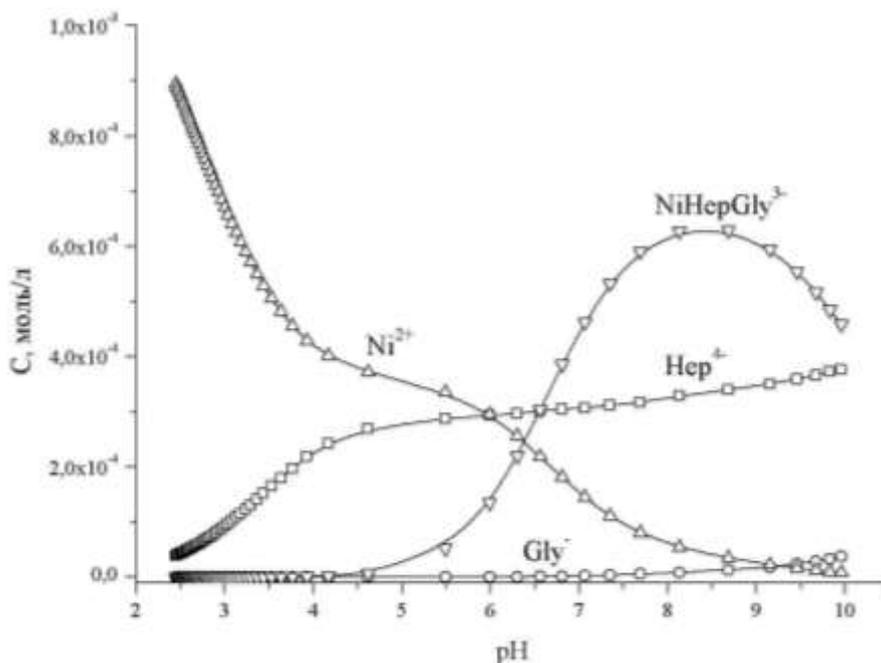


Рис3б. Диграмма распределения комплексных форм в системе $\text{Ni}^{2+} - \text{Na}_4\text{Hep} - \text{H}_2\text{Gly}^+ - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ при эквимольном соотношении $\text{M}:\text{L}_1:\text{L}_2$.

В таблице приведены рассчитанные нами десятичные логарифмы констант образования идентифицированных комплексных форм.

**Десятичные логарифмы констант образования смешаннодигандных комплексных форм в системах $M^{2+} - L_1 - L_2$ (M^{2+} : Cu^{2+} , Ni^{2+} ; L_1 : Hep^{4-} ; L_2 : Arg, Gly).
 $I = 0.15$ NaCl, 37°C**

Форма	$lg\beta$
$CuHepHArg^{2-}$	27.23 ± 0.06
$CuHepArg^{3-}$	20.05 ± 0.04
$CuHepGly^{3-}$	15.84 ± 0.01
$CuOHHepGly^{4-}$	22.28 ± 0.02
$NiHepHArg^{2-}$	20.60 ± 0.05
$NiHepGly^{3-}$	9.60 ± 0.29

Выводы

Впервые исследованы металл-ионные равновесия в системах $M^{2+} - L_1 - L_2$ (M^{2+} : Cu^{2+} , Ni^{2+} ; L_1 : Hep^{4-} ; L_2 : Arg, Gly). Показана возможность образования смешаннолигандных металлокомплексов ионов меди и никеля с гепарином и аминокислотами; для идентифицированных комплексных форм установлена стехиометрия и вычислены величины десятичных логарифмов констант их образования.0

Список литературы:

1. Семенов А.Н., Николаева Л.С., Мамонтов М.Н., Ляпина Л.А., Пасторова В.Е., Феофанова М.А. Сравнительный анализ процессов комплексообразования ионов магния и кальция с низкомолекулярным и нефракционированным гепарином // Журн. неорг. хим. – 2007, Т. 52, №4, с. 706-712.
2. Семенов А.Н. Физико-химические закономерности образования металлокомплексов ионов некоторых s-, d- и f-элементов с гепарином. Автореферат дисс. канд-та хим. наук. – Тверь, 2010.
3. Николаева Л.С., Семенов А.Н., Бурова Л.И. Смешаннолигандное комплексообразование ионов кальция и магния с гепарином и глицином. // Журн. неорг. химии. – 2011, Т. 56, №4, с. 689 – 696.
4. Николаева Л.С., Семенов А.Н., Бурова Л.И. Расчет химических равновесий в системах гепарин-аргинин- H_2O -NaCl и MCl_2 -гепарин-аргинин- H_2O -NaCl в физиологическом растворе // Журн. физ. химии. - 2010, Т.84, № 12, с. 2233 – 2240.
5. Евсеев А.М., Николаева Л.С. Математическое моделирование химических равновесий. – М.: Изд-во Моск. ун-та. - 1988.

05.17.02

**Е. А. Аликин, А. С. Афанасьев, А. С. Волков, А. С. Карпов, М. А. Машковцев,
О. И. Ребрин д.х.н.**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, г. Екатеринбург
karpovant@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ РАСТВОРОВ НИТРАТОВ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОЙ ОКСИДНОЙ СИСТЕМЫ Ce-Zr-Al-O

В статье представлены результаты исследования свойств оксидной системы Ce-Zr-Al-O, полученной методом распылительной сушки. В работе выявлены основные закономерности в изменении свойств при температурном старении композиции.

Ключевые слова: термическая стабильность, оксидная система, оксид церия, оксид циркония, оксид алюминия.

Для нейтрализации вредных выбросов автомобилей – CO, NO_x, CmHn и проч.: производители автомобилей применяются «three way catalyst» (трёхпроцессные катализаторы - TWC) [1]. В этих устройствах применяют смеси наноразмерных (10-50 нм) оксидов Ce, Zr и т.д. и благородные металлы (Pt, Pd, Rh) [2,3]. По мнению авторов статьи создание наноконпозиции способно повысить термическую стабильность материала. Задача заключается в получении нанокристаллитов, которые были бы гомогенно перемешаны в объёме композиции [4]. В работе исследованы свойства оксидной композиции Ce_mZr_nAl_pO_x, полученной методом распылительной сушки, а также влияние термического старения на данные материалы. Методы исследования: метод Брюнауэра-Эммета-Тейлора и рентгенофазовый анализ.

Для получения оксидной композиции растворы нитратов Ce-Zr-Al требуемого состава подавали в реактор-сушилку типа циклон по капилляру вдоль оси аппарата.

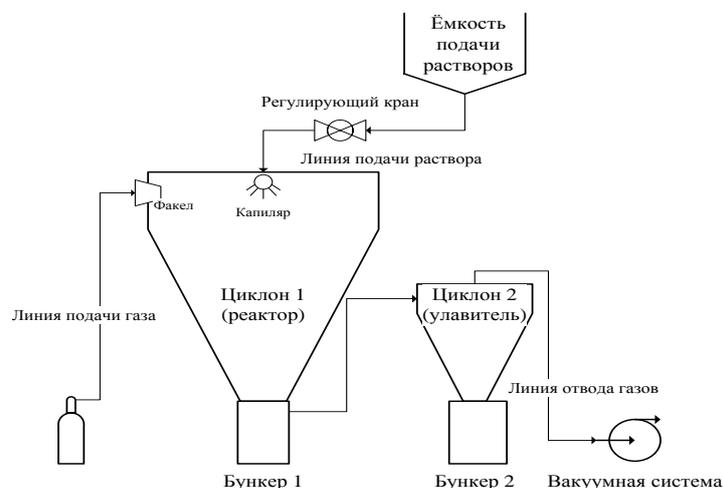


Рисунок 1 – схема распылительной сушилки.

Тангенциально в реактор-сушилку направляли газовый факел (смесь воздух/пропан), при помощи которого создавали условия для быстрого удаления влаги и разложения нитратов с образованием гидроксидов металлов (в реакторе избыток по кислороду и температура 360-380 °С). Разряжение в реакторе организовано при помощи концевой вакуум-установки (Рисунок 1). Газовый поток, с образующимися в процессе распылительной сушки твёрдыми частицами композиции Ce-Zr-Al-O-nH₂O, направляется на циклон-уловитель, где твёрдые частицы отделяются от паровоздушной смеси. Частицы порошка оксидной композиции выгружали из бункеров 1 и 2, объединяли и направляли на исследование удельной поверхности и рентгенофазовый анализ. Затем порошки термически старили при температуре 1000 С 1 час и вновь направляли на аналогичные исследования.

Образцы материалов из бункеров 1 и 2 объединялись и направлялись на исследования удельной поверхности. Результаты исследования приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследования удельной поверхности образцов, синтезированных в распылительной сушилке.

№ п/п	Состав	Удельная поверхность		Концентрация в пересчёте на оксид, г/л
		свежий	1000 С / 1 час	
1	Ce _{0,74} Zr _{0,26} O _x	45,7	7,3	100
2	Al ₂ O ₃	58	7,5	100
3	(Ce _{0,74} Zr _{0,26} O _x) _{0,5} Al _{0,5} O _x	30,2	10,2	100

По результатам исследования, приведённым в Таблице 1, можно сделать несколько выводов. Во-первых, удельная поверхность «индивидуальных» оксида алюминия и твёрдого раствора циркония в церии выше, чем удельная поверхность композиции. Во-вторых, термическое старение 1 час 1000 °С приводит к снижению поверхности, как у индивидуальных компонентов системы, так и у композитного материала. В-третьих, относительное снижение удельной поверхности при термическом старении для композиции ниже, чем для индивидуальных оксида алюминия и твёрдого раствора оксида циркония в оксиде церия.

Рентгенограммы образцов оксидной композиции, полученные в ходе синтеза распылительной сушкой (свежий и после термического старения 1000 °С 1 час), представлены на Рисунке 2.

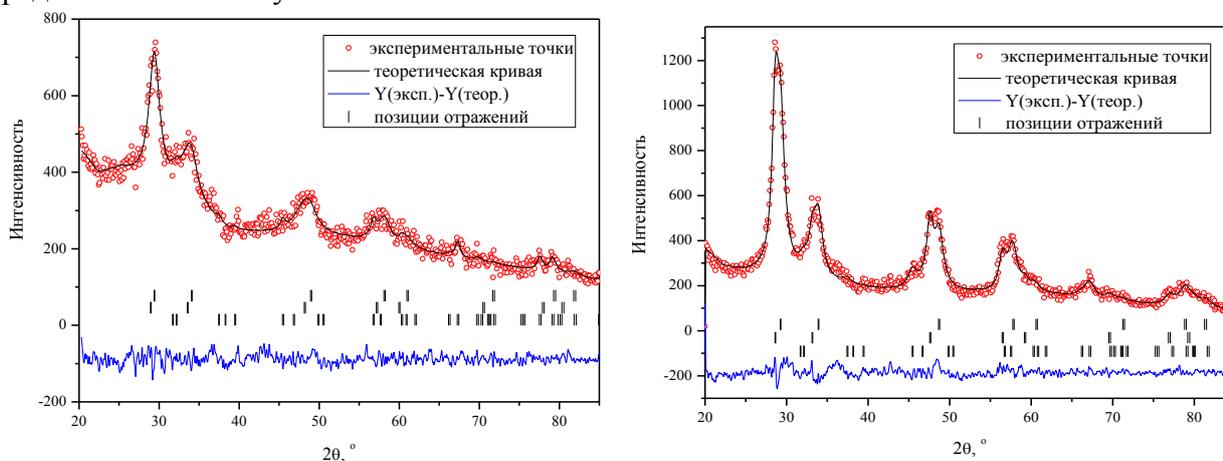


Рисунок 2 – Рентгенограммы свежего и состаренного 1 час 1000 °С материала оксидной композиции Ce-Zr-Al с описанием.

В Таблице 2 представлены результаты обработки рентгенограмм.

Таблица 2 - Результаты рентгенографического анализа

<p>(Ce_{0,74}Zr_{0,26}O_x)_{0,5}Al_{0,5}O_x свежий Фазовый состав и ОКР: 1) кубический (Ce,Zr) O₂ (пр. гр. <i>Fm3m</i>), ОКР=4 нм; 2) кубический CeO₂ (пр. гр. <i>Fm3m</i>), ОКР=2 нм; 3) тетрагональный γ-Al₂O₃ (пр. гр. <i>I41/amd</i>), ОКР=10 нм.</p>	<p>(Ce_{0,74}Zr_{0,26}O_x)_{0,5}Al_{0,5}O_x 1000 С / 1 час Фазовый состав и ОКР: 1) кубический (Ce,Zr) O₂ (пр. гр. <i>Fm3m</i>), ОКР=5 нм; 2) кубический CeO₂ (пр. гр. <i>Fm3m</i>), ОКР=7 нм; 3) тетрагональный γ-Al₂O₃ (пр. гр. <i>I41/amd</i>), ОКР=5 нм.</p>
--	---

Рентгенофазовый анализ композиционного материала до и после термического старения позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, свежий материал представляет собой плохо упорядоченную смесь из твёрдого раствора оксида циркония в оксиде церия, индивидуального оксида церия и гамма - оксида алюминия, на это указывает высокий уровень «шумов» и значительное отклонение фактической кривой от теоретической. Во-вторых, термическое старение приводит к росту кристаллитов цериевой фазы (как индивидуального оксида церия так и твёрдого раствора не его основе), и к уменьшению размера кристаллитов гамма - оксида алюминия, что говорит об активной перекристаллизации оксидных материалов в составе композиции.

Выводы. Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Распылительной сушкой возможно получить оксидную композицию состава Ce-Zr-Al-O с неупорядоченной структурой в виде взаимно распределённых нанокристаллитов фаз CeO₂, Ce_nZr_{1-n}O₂ и γ-Al₂O₃ и с невысокой удельной поверхностью.

2. Термическое старение приводит к снижению удельной поверхности в результате активной перекристаллизации компонентов оксидной композиции.

Список литературы:

1. A. Morikawa, T. Suzuki, T. Kanazawa, K. Kikuta, A. Suda, H. Shinjo, A new concept in high performance ceria-zirconia oxygen storage capacity material with Al₂O₃ as a diffusion barrier // Applied Catal. 78 (2008) 210-221.

2. Chia-Che Chuang, Hsing-I Hsiang, Jenn Shyong Hwang, Tai Shen Wang, Synthesis and characterization of Al₂O₃ – Ce_{0,5}Zr_{0,5}O₂ powders prepared by chemical coprecipitation method// Journal of Alloys and Compounds, Volume 470, Issues 1-2, 20 February 2009, Pages 387-392

3. S. Matsumoto, Toyota Tec. Rev. 44 (1994) 10.

4. T. Kanazawa, J. Suzuki, T. Takada, T. Suzuki, A. Morikawa, A. Suda, H. Sobukawa and M. Sugiura. Development of three-way catalyst using composite alumina-ceria-zirconia// Studies in Surface Science and Catalysis, 145 (2003)

С. Алтайулы к.т.н.

Воронежская государственная технологическая академия
Россия г. Воронеж
sagimbek@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ФОСФОЛИПИДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЕЛ ПРИ УДАЛЕНИИ ВЛАГИ В РОТАЦИОННО-
ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ**

Рассмотрена математическая модель гидродинамики в цилиндрическом ротационно-пленочном аппарате при удалении влаги из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел. Модель позволяет исследовать характер движения жидкости в аппарате, оптимизировать конструктивные и технологические параметры установки.

Ключевые слова: ротационно-пленочный аппарат, фосфолипидная эмульсия, гидродинамика, тепло и массообмен.

При построении адекватного математического описания процесса влагоудаления из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел в ротационно-пленочных аппаратах необходим комплексный подход к проблеме, который в настоящее время немыслим без системного анализа гидродинамических, диффузионных и тепловых процессов, осложненных наложением большого числа явлений различной природы. Влагоудаление из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел представляет собой процесс тепло- и массообмена при наличии фазовых превращений, который состоит из переноса теплоты и вещества внутри материала, т.е. внутренний теплообмен, и переноса теплоты и вещества от обрабатываемой частицы в окружающую среду, т.е. внешний теплообмен. Таким образом, сочетание внутреннего и внешнего тепло- и массообмена определяет кинетику процесса.

В ротационно-пленочных аппаратах при влагоудалении из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел вращающийся ротор распределяет жидкость тонким слоем в зазоре между лопастями ротора и внутренней цилиндрической поверхностью аппарата [1, 4]. Постепенно перемещаясь в осевом направлении, пленка обезвоживается, и по достижении конечного влагосодержания, готовый продукт выводится из аппарата через выходной патрубок. При описании кинетики такого сложного процесса невозможно использовать макрокинетический метод с теорией подобия. Поэтому, в соответствии с системным подходом, принято решение весь процесс разбить на ряд элементарных систем, определив набор идеализированных моделей. Идеальным, с этой точки зрения, представляется метод конечных элементов [2, 6], в рамках которого можно создавать модели в высокой степени адекватные, универсальные, быстро и безошибочно реализуемые, легко корректируемые и надежные. При использовании данного метода сложная система разбивается на большое число однотипных подсистем, взаимодействующих между собой. При этом сложность системы сводится к просчету кооперативных явлений взаимодействия элементов между собой [6].

Применительно к моделированию ротационно-пленочного аппарата целесообразно разбить весь объем движущейся жидкости на большое количество (порядка 10^5) элементов-шаров трех типов (фосфатиды, масло, вода), представляющих собой элементы жидкости и взаимодействующих между собой. Диаметр элементов может составлять порядка 0,3–1,0 мм, при этом достаточно адекватно воспроизводятся гидромеханические процессы, и одновременно обеспечивается высокая скорость компьютерных расчетов. Шаровидная

форма элементов принята, чтобы добиться изотропии свойств модельной жидкости. Основные свойства жидкости (тип, плотность, модуль упругости, теплопроводность, и др.) пересчитываются на один элемент жидкости.

Моделирование механического воздействия на эмульсию. Первым из наиболее важных рабочих процессов, которые необходимо воспроизвести в модели, является испарение воды из эмульсии. Испарение в модели воспроизводится постепенным самопроизвольным выходом и удалением шаровых элементов воды из трехкомпонентной смеси элементов. Вторым по важности процессом является механическое движение эмульсии в аппарате, вызываемое вращающимся ротором. Для того, чтобы модель корректно воспроизводила указанные процессы, необходимо воспроизвести механическое движение шаровых элементов и задать их взаимодействие между собой и с рабочими поверхностями аппарата (ротором, стенками, подводными патрубками).

Состояние каждого элемента-шара i определяется шестью переменными: декартовыми координатами его центра (x_i, y_i, z_i) и декартовыми составляющими скорости (v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}) . Взаимодействие элементов между собой будем считать вязкоупругим, что позволяет адекватно учитывать возникновение упругости при сжатии жидкости и потери энергии при течении жидкости.

Расчет сил, действующих на элементы, производится следующим образом. Некоторый элемент i испытывает силовое воздействие со стороны каждого из окружающих его элементов j :

$$F_i = \sum_{j=1}^{N_{\Omega}} (F_{ij}^V + F_{ij}^B) \quad (1)$$

где F_{ij}^V и F_{ij}^B – силы упругого и вязкого взаимодействия элементов i и j ; N_{Ω} – общее количество элементов в модели жидкости.

От способа задания силы между элементами $F_{ij}(r_{ij})$ (где r_{ij} – расстояние между элементами) зависят свойства жидкости или газа [3]. В простейшем случае, можно считать взаимодействие упругим и подчиняющимся закону Гука, что является достаточным для решения большинства задач о функционировании аппарата. При внедрении элементов друг в друга возникает возвращающая сила, пропорциональная величине их внедрения (ветвь графика при $0 < r_{ij} < d_{\Omega}$, где d_{Ω} – диаметр элемента). Для того, чтобы учесть склонность элементов жидкости соединяться между собой и обеспечивать неразрывность объема жидкости, то же самое пропорциональное взаимодействие сохраняется и в диапазоне $d_{\Omega} < r_{ij} < d_0$ (где d_0 – расстояние, при котором происходит отрыв элементов). При этом попытка удалить элементы друг от друга также вызовет возвращающую силу, стремящуюся вернуть элементы в состояние касания. Таким образом, упругое взаимодействие подчиняется следующему закону.

$$F_{xij}^V = \begin{cases} c(d_{\Omega} - r_{ij})(x_i - x_j)/r_{ij}, & \text{если } r_{ij} < d_0; \\ 0, & \text{если } r_{ij} \geq d_0; \end{cases}$$

$$F_{yij}^V = \begin{cases} c(d_{\Omega} - r_{ij})(y_i - y_j)/r_{ij}, & \text{если } r_{ij} < d_0; \\ 0, & \text{если } r_{ij} \geq d_0; \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{zij}^V = \begin{cases} c(d_{\Omega} - r_{ij})(z_i - z_j)/r_{ij}, & \text{если } r_{ij} < d_0; \\ 0, & \text{если } r_{ij} \geq d_0, \end{cases}$$

где F_{xij}^V и F_{yij}^V – декартовы составляющие силы F_{ij}^V ; c – жесткость упругого взаимодействия элементов.

Для расчета F_{ij}^B выбрана общепринятая прямо-пропорциональная зависимость вязкой силы от скорости движущегося в среде тела, при этом введен дополнительный коэффициент $(r_{ij} - d_0)$, представляющий собой величину взаимного проникновения элементов друг в друга.

$$\begin{aligned}
F_{xij}^B &= k(r_{ij} - d_o)(v_{xi} - v_{xj}), \\
F_{yij}^B &= k(r_{ij} - d_o)(v_{yi} - v_{yj}), \\
F_{zij}^B &= k(r_{ij} - d_o)(v_{zi} - v_{zj}).
\end{aligned}
\tag{3}$$

где k – коэффициент вязкости.

В зависимости от того, какая пара шаровых элементов взаимодействует (возможны шесть вариантов: "вода"–"вода", "вода"–"фосфатиды", и т.д.), в формулы (2) и (3) подставляют соответствующие коэффициенты жесткости и вязкости.

Движение элементов в рамках классической механики описывается дифференциальными уравнениями, составляемыми на основе второго закона Ньютона. Для i -го элемента можно записать

$$\begin{aligned}
m_{\ominus} \frac{d^2 x_i}{dt^2} &= \sum_{j=1}^{N_{\ominus}} (F_{xij}^V + F_{xij}^B) + \sum_{j=1}^{N_{\Pi}} F_{xij}^{\Pi}; \\
m_{\ominus} \frac{d^2 y_i}{dt^2} &= \sum_{j=1}^{N_{\ominus}} (F_{yij}^V + F_{yij}^B) + \sum_{j=1}^{N_{\Pi}} F_{yij}^{\Pi}; \\
m_{\ominus} \frac{d^2 z_i}{dt^2} &= \sum_{j=1}^{N_{\ominus}} (F_{zij}^V + F_{zij}^B) + \sum_{j=1}^{N_{\Pi}} F_{zij}^{\Pi} - m_{\ominus} g
\end{aligned}
\tag{4}$$

где m_{\ominus} – масса элемента; t – время; g – ускорение свободного падения; F_{ij}^{Π} – силы действующие со стороны j -го элемента рабочей поверхности аппарата на i -й элемент жидкости; N_{Π} – количество рабочих поверхностей.

Расчет сил взаимодействия элементов с рабочими поверхностями F_{ij}^{Π} производится по отдельному алгоритму, при этом учитывается геометрия поверхностей: цилиндрические поверхности корпуса и ротора, плоские передней и задней стенки аппарата и т.д.

Необходимо отметить, что вращение шаровых элементов вокруг их центров в модели не учитывается, при этом практически не вносится погрешность, так как элементы образуют более крупные элементы жидкости (капли, слои). При движении таких крупных фрагментов учет их вращения происходит автоматически – движением элементов друг относительно друга.

Моделирование массо- и теплообмена. Отдельную сложность представляет собой учет массо- и теплообменных явлений в процессе влагоудаления из пленки фосфолипидной эмульсии. Массообмен заключается в диффузии отдельных составляющих эмульсии в осевом и радиальном направлениях в объеме пленки. Так как изначально в модель заложена трехкомпонентность эмульсии, удаление элементов воды с поверхности пленки вызывает подход к поверхности элементов воды из внутренних слоев пленки, хаотично движущихся в модели вследствие теплового движения. Изменение температуры по толщине пленки мало, однако и оно корректно воспроизводится в модели хаотично движущихся шаров: отрыв шаров с поверхности пленки приводит к уменьшению энергии (и соответственно скоростей шаров) при поверхностного объема пленки, однако движущиеся шары внутренних слоев пленки, получающие энергию от нагреваемой стенки аппарата, передают движение в поверхностный слой пленки. Таким образом, массо- и теплообмен воспроизводится в модели движением элементов; такой подход близок к молекулярно-динамическим методу моделирования структуры и свойств материалов, где он показал высокую эффективность [7].

Основным принципом при решении сложных задач является дискретизация, то есть стремление разбить сложную систему на большое количество элементов малого размера (желательно бесконечно-малого размера). В соответствии с этим принципом разработанная математическая модель представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений. Дифференциальные уравнения, встречающиеся в системе, решаются численно –

методом Эйлера-Коши. Для удобства исследования системы уравнений составлена компьютерная программа "Моделирование гидродинамического поведения фосфолипидной эмульсии при сушке в ротационно-пленочном аппарате" на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.0 (рисунки 1, 2). Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ [5].

Программа предназначена для теоретического исследования гидродинамических процессов, происходящих с фосфолипидной эмульсией в ротационно-пленочном аппарате при сушке эмульсии.

Функциональные возможности программы:

- проведение компьютерного эксперимента для исследования характера движения жидкости (фосфолипидной эмульсии) в ротационно-пленочном аппарате;
- задание основных параметров, характеризующих: конструкцию ротационно-пленочного аппарата (диаметр и длина сушильной камеры), режим функционирования (частота вращения ротора), физико-механические свойства жидкости (состав эмульсии, жесткость и вязкость взаимодействия);
- вывод на экран в процессе компьютерного эксперимента схематичного изображения ротационно-пленочного аппарата и фосфолипидной эмульсии, текущих значений параметров, а также диаграммы распределения жидкости по периметру аппарата.

Основные технические характеристики программы:

- скорость вращения ротора от 0 до 20 с⁻¹;
- количество элементов жидкости от 100 до 10000.
- ориентировочное время проведения одного компьютерного эксперимента около 5 мин (частота 3 ГГц).

В процессе компьютерного эксперимента на экран компьютера непрерывно выводится схематичное изображение моделируемой системы (рисунок 2), по которому можно визуально анализировать характер движения жидкости в ротационно-пленочном аппарате.

При запуске программы появляется интерфейсная форма с большим количеством окон ввода, в которых можно задать параметры, которые отражают различные аспекты модели:

- 1) геометрические параметры ротационно-пленочного аппарата;
- 2) физические свойства фосфолипидной эмульсии;
- 3) режимы работы ротационно-пленочного аппарата.

Моделирование гидродинамического поведения фосфолипидной эмульсии при сушке в ротационно-пленочном аппарате

Параметры геометрических параметров аппарата

0.20 Диаметр камеры ротационно-пленочного аппарата, м
0.01 Радиус камеры ротационно-пленочного аппарата, м
0.00 Частота вращения ротора, 1/с

Состав жидкости

0.00 Вязкость жидкости, "проектный"
0.00 Коэффициент жесткости жидкости
0.00 Коэффициент жесткости жидкости, "проектный"

Физико-механические свойства жидкости

0.00 Диаметр, м
0.00 Масса жидкости, кг
0.00 Коэффициент жесткости жидкости, "проектный"
0.00 Коэффициент жесткости жидкости, "проектный", 1/с

Параметры компьютерного эксперимента

0.0000 Вращательная скорость, 1/с
0.00 Диаметр камеры ротационно-пленочного аппарата, м

Начать расчет

Рисунок 1 – Форма ввода исходных данных для расчета.

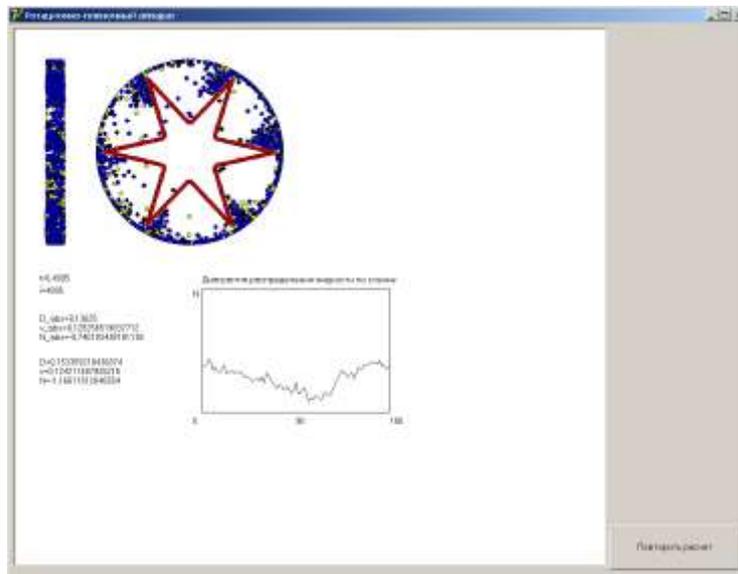


Рисунок 2 – Вывод схематичного изображения в аппарате и протекающего процесса.

Влияние параметров ротационно-пленочного аппарата на эффективность его работы.

Влияние частоты вращения ротора. Частота вращения ротора ω_0 оказывает влияние на интенсивность гидромеханических процессов в ротационно-пленочном аппарате. Для изучения влияния ω_0 на характер движения жидкости провели серию компьютерных экспериментов, в пределах которой изменяли частоту ω_0 от 0 до 10 с^{-1} с шагом 0,5 или 1,0 с^{-1} (в диапазоне низких и высоких частот вращения соответственно).

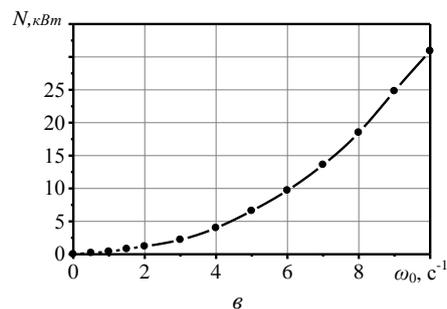
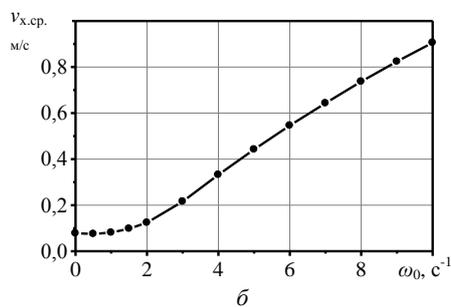
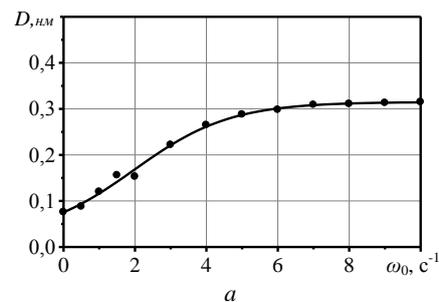


Рисунок 3 – Влияние частоты вращения ротора ω_0 на дисперсность эмульсии (а), среднюю скорость горизонтального движения (б), затрачиваемую мощность (в).

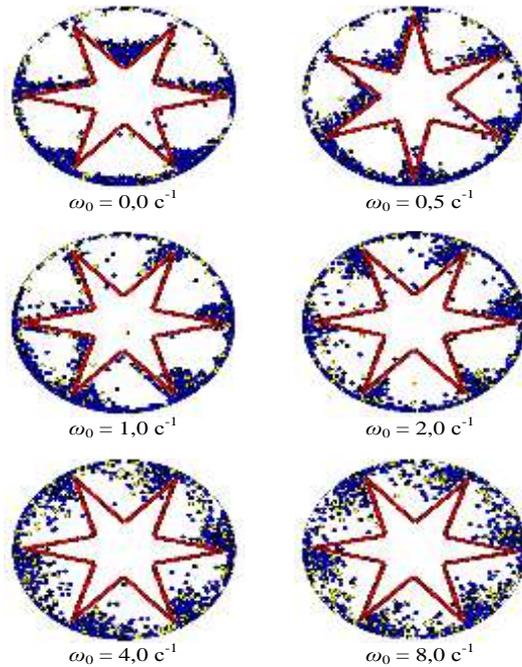
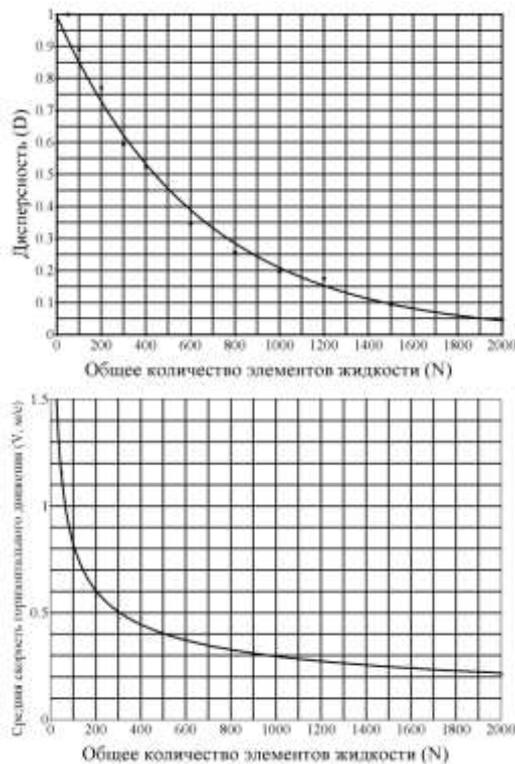


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения ротора ω_0 на состояние фосфолипидной эмульсии в аппарате и на характер ее движения.

Влияние степени заполнения аппарата эмульсией. Проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменяли общее количество элементов эмульсии от 0 до 2000 с шагом 200.



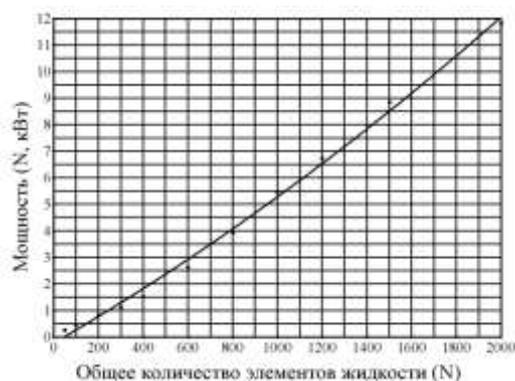
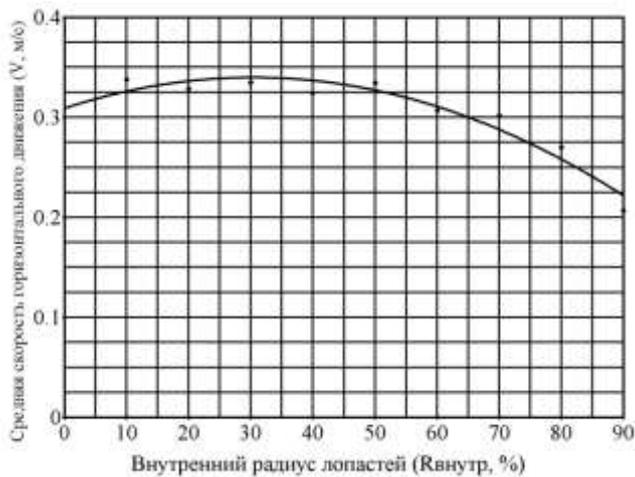
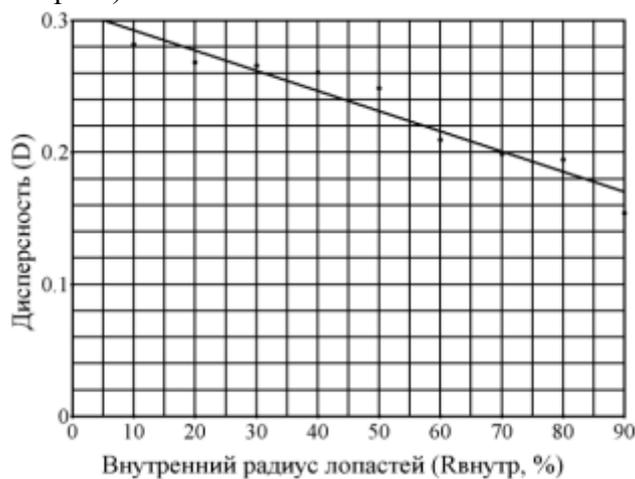


Рисунок 5 – Влияние общего количества элементов фосфолипидной эмульсии N_{Σ} на дисперсность эмульсии (а), среднюю скорость горизонтального движения (б), затрачиваемую мощность (в).

Влияние внутреннего радиуса ротора. Проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменяли внутренний радиус ротора от $0,1R_A$ до $0,9R_A$ с шагом $0,1R_A$ (где R_A – радиус аппарата).



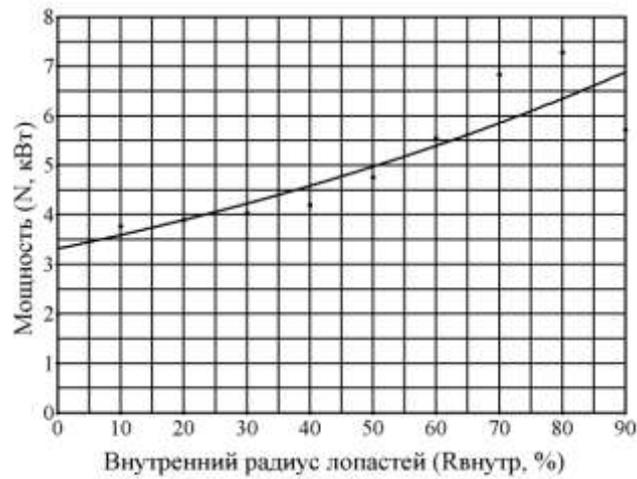
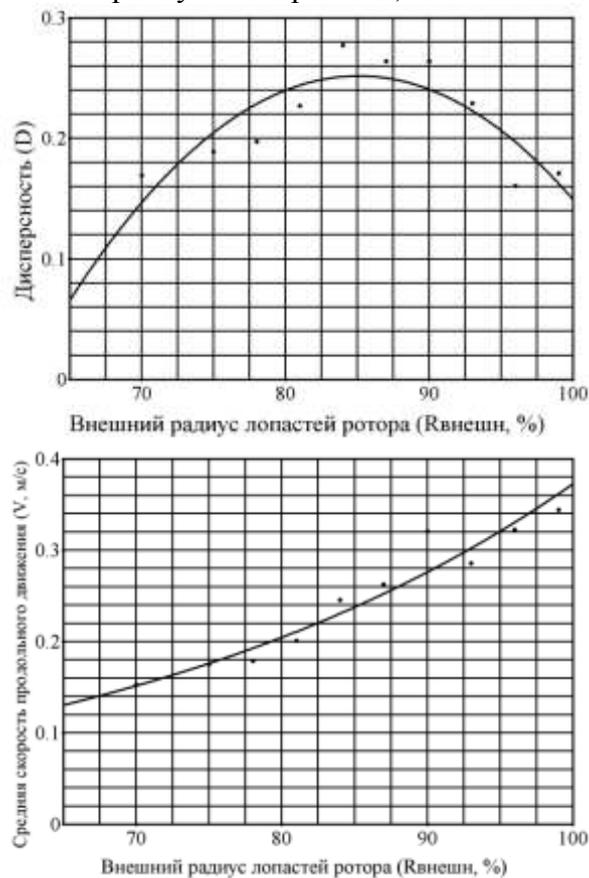


Рисунок 6 – Влияние внутреннего радиуса ротора ($R_{\text{внутр}}$) на дисперсность эмульсии (а), среднюю скорость горизонтального движения (б), затрачиваемую мощность (в).

Влияние внешнего радиуса ротора. Проведена серия компьютерных экспериментов, в которой варьировали внешний радиус ротора на уровнях 0,70, 0,78, 0,82, 0,84, 0,87, 0,90, 0,93, 0,96, 0,99 от R_A (указаны доли от радиуса аппарата R_A).



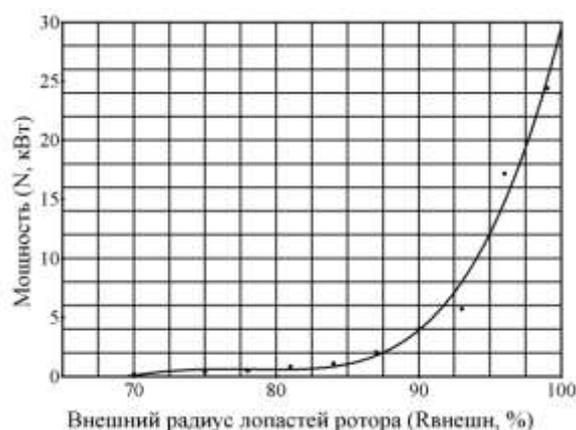


Рисунок 7 – Влияние внешнего радиуса ротора $R_{\text{внешн}}$ на дисперсность эмульсии (а), среднюю скорость горизонтального движения (б), затрачиваемую мощность (в).

Основные результаты и выводы. Разработана физико-математическая модель цилиндрического ротационно-пленочного аппарата, которая воспроизводит широкий круг гидромеханических и тепломассообменных явлений, происходящих с фосфолипидной эмульсией, а также позволяет исследовать характер движения жидкости в аппарате, оптимизировать конструктивные и технологические параметры установки.

Список литературы:

1. Алтайулы, С. Сушка фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел в ротационно-пленочных аппаратах [Текст] / С. Алтайулы// Материалы научн. конф. с международным участием “Пищевая наука, техника и технологии – 2010” 15 – 16 октября, 2010 г., Пловдив. Научни трудове на Университет по хранители технологии – Пловдив. Том LVII, Свитък 2 – 2010 г., С.589-594.
2. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 2. – М.: Мир, 1990. – 400 с.
3. Лагарьков А.Н., Сергеев В.М. Метод молекулярной динамики в статистической физике // УФН. – 1978. – Т. 125. – № 7. – С. 409–448.
4. Патент РФ на полезную модель № 99987 МПК ВО1D 1/22 (2006.01). Цилиндрический ротационно-пленочный аппарат [Текст] / Алтайулы С., Антипов С.Т., Шахов С.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. - № 2010110753/05; заявл. 22.03.2010; Оpubл.: 10.12.2010, Бюл. №34 - 4 с.
5. Свидетельство РОСПАТЕНТА о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011614415. Моделирование гидродинамического поведения фосфолипидной эмульсии при сушке в ротационно-пленочном аппарате / Алтайулы С., Посметьев В.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад.- № 2011611491; заявл. 09.03.2011; зарегистр. 06.06.2011.
6. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. – М.: Наука, 1990. – 176 с.
7. Hafner J. Atomic-Scale Computation Materials Science // Acta Mater. – 2000. – Vol. 48. – P. 71-92.

В. Л. Балдин, А. П. Буйносов к.т.н.

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)
кафедра «Электрическая тяга»
Россия, г. Екатеринбург
byinosov@mail.ru, BaldinV@svrw.ru.

ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВОВ

В статье описаны бесконтактные методы измерения параметров колесных пар при движении локомотива. Приведены требования к системе оперативного контроля элементов профиля колесных пар. Полученные алгоритмы и технические решения положены в основу создания автоматизированной системы обмера колесных пар.

Ключевые слова: Локомотив, колесная пара, автоматизированное измерение, решение.

Анализ опубликованной информации в России и за рубежом показывает, что в задаче оперативного контроля элементов колесных пар можно выделить четыре основных направления, различающихся методами решения.

Первое направление – методы определения нормальных износов колесных пар [1, 2]. Характерной особенностью этих дефектов является то, что они проявляются по всему кругу катания, и поэтому могут быть оценены в любом, произвольном сечении колеса. Возможная неравномерность износа по кругу катания оценивается путем измерения параметров в нескольких сечениях [1, 3].

Второе направление – методы определения дефектов по кругу катания. Размеры дефектов, подлежащих определению, имеют величину порядка 10 мм в плоскости и 1–2 мм по глубине. Дефекты могут располагаться в произвольном сечении круга катания. Для обнаружения точечных дефектов, необходимо контролировать всю поверхность катания или использовать косвенные методы обнаружения дефектов без оценки их размеров [4].

Третье направление – методы обнаружения трещин и изломов на поверхности катания. Такие дефекты на поверхности катания не приводят к изменению геометрических характеристик этой поверхности. Следовательно, они не могут быть обнаружены методами дистанционного бесконтактного измерения и контроля геометрических параметров поверхности катания. Их обнаруживают с помощью контактных систем ультразвуковой дефектоскопии [5].

Четвертое направление – методы обнаружения отклонений геометрических размеров колесных пар. Для реализации метода требуется пространственно-временная привязка измерений каждого колеса и колесных пар в тележке. Такое решение позволяет оценивать разность диаметров бандажей колесных пар, а также перекос колесных пар относительно рамы тележки локомотива.

Допуски на измеряемые параметры составляют величину порядка 0,5–1,0 мм. В соответствии с инструкцией, допускаемая погрешность измерений должна соответствовать ГОСТ 8.051–88 для линейных размеров величиной до 500 мм. Для линейных размеров свыше 500 мм погрешность измерений принимается равной $(0,20–0,33) \cdot T$, где T – допуск на размер. Таким образом, требования по точности установки для измерения параметров колесных пар должно находиться в пределах 0,20–0,33 мм [5].

Система оперативного контроля элементов профиля колесных пар должна обеспечивать [1, 5–7]:

- дистанционное измерение геометрических параметров характерных точек профиля бандажа колеса;
- пространственно-временную привязку результатов измерений в пределах колесных пар одной тележки;
- обнаружение (не измерение параметров) точечных дефектов на любом участке поверхности по всему кругу катания;
- точность измерения параметров в пределах 0,20–0,33 мм [8, 9].

На основе анализа патентной информации можно выделить три основных направления по разработке систем бесконтактного измерения геометрических параметров объектов, в том числе и колесных пар.

Оптические системы сканированием луча (шесть патентов). Патенты посвящены измерению какого-либо параметра – диаметра, крутизны гребня и т.д. В условиях Российских железных дорог и климата, это направление для создания стационарных систем, устанавливаемых на путях, неперспективно.

Оптические системы с применением видеокамер и цифровой обработкой изображений. Принцип действия этих систем заключается в облучении измеряемой поверхности лучом сканирующего лазера или другим оптическим источником так, чтобы на поверхности объекта освещалась тонкая световая линия. Образ линии, принятый видеокамерой, оцифровывается, вводится в ПЭВМ и используется для одновременного и точного измерения множества точек вдоль профиля. Таким образом, эта технология представляет собой быстрый и гибкий метод оцифровки поверхностей. В настоящее время этот метод широко используется в промышленности для бесконтактного обмера крупногабаритных деталей. Известна система «Инспектомат-510», в которой реализован этот принцип для измерения профиля поверхности катания колесных пар подвижного состава. В реальной системе используются четыре видеокамеры на каждое колесо колесной пары.

Для обеспечения работы системы должен быть изготовлен специальный профильный отрезок рельса, а само колесо должно быть предварительно очищено от смазки специальным устройством. Кроме того, обработка изображений требует больших затрат времени, поэтому данный принцип измерения имеет жесткие ограничения на скорость движения поезда. В описанных системах скорость ограничена до 8 км/ч. Кроме того, метод не позволяет измерять диаметр колеса. В описанной системе для измерения диаметра используется специальная система датчиков [1, 6].

Локационные дальномерные системы. Принцип действия этих систем основан на измерении расстояния от фиксированной системы датчиков до характерных точек поверхности измеряемого объекта. По типу применяемых физических принципов построения локационного канала различаются радиолокационные, оптические, электромагнитные и ультразвуковые методы. Анализ патентов радиолокационного измерителя профиля поверхности катания, использующего эффект электромагнитного взаимодействия микроволновой антенны с поверхностью катания, электромагнитного датчика близости катания и устройства, использующего ультразвуковые локационные каналы показал, что практически все реализованные системы для измерения параметров профиля поверхности катания колеса используют ультразвуковые локационные датчики. Однако подробных технических описаний таких систем нет, поскольку они используются только в единичных опытных экземплярах.

Общим для всех известных методов измерения профиля бандажа является то, что они могут производить измерения только в конкретном сечении, определяемом конфигурацией линии установки датчиков [5].

При решении задачи определения параметров колесных пар оказалось, что наиболее трудно измерить их диаметр. Особо важными являются разность между номинальным и фактическим значениями диаметра бандажа одной колесной пары, разность диаметров колесных пар в одной тележке и колесных пар под локомотивом. В настоящее время измерение параметров осуществляется вручную при помощи переносных (накладных)

измерительных приборов или приспособлений. Точность измерения зависит от точности инструмента и квалификации персонала и поэтому результаты не всегда соответствуют истинным значениям [10]. Предпочтительными являются методы, основанные на бесконтактном измерении диаметра с автоматической регистрацией параметров при движении подвижного состава [7].

Один из методов измерения диаметра колеса [11] базируется на применении измерительного рельса со сквозными отверстиями, расположенными на определенных заранее известных расстояниях друг от друга. По оси каждого отверстия последовательно располагаются источники света и фотоприемники, которые размещаются со стороны, противоположной опорной поверхности измерительного рельса, а сквозные отверстия выполняются в плоскости перпендикулярной его опорной поверхности. При определении диаметра колеса в расчетах учитываются базовые расстояния между отверстиями, измеряется скорость движения колеса, фиксируется момент времени прихода отраженных сигналов от поверхности катания колеса, по которым вычисляется значение диаметра. Однако, реализация данного метода технически сложна, а надежность измерительного комплекса из-за возможности засорения отверстий низка.

Известен метод, базирующийся на расположении вдоль пути двух излучающих и двух приемных датчиков, которые разнесены друг от друга на известное расстояние [6]. Во время движения колеса фиксируются моменты времени, когда происходит перекрытие пути прохождения сигналов от излучающих датчиков к приемным датчикам. Определяются скорость движения колеса, базовое расстояние между парами датчиков (излучатель-приемник), хорда сегмента измеряемого колеса, стрела сегмента, по значениям которых в обрабатывающем устройстве формируется сигнал, соответствующий диаметру измеряемого колеса при заданном коэффициенте пересчета. Однако при реализации этого метода необходимо размещать датчики выше головки рельса, что не всегда допустимо на практике.

Описан метод, который основан на измерении диаметра колеса в определенные моменты времени в четырех точках. Вдоль пути размещаются четыре системы датчиков, каждая из которых включает пару датчиков (излучатель-приемник), расположенные на известных расстояниях одна от другой. По измеряемым интервалам времени, соответствующим моментам достижения мерных точек, скорости движения колеса и расстояниям между мерными точками рассчитывается диаметр колеса. Недостатком этого метода является сложность установки и юстировки систем датчиков на рельсе, и уменьшение точности измерения диаметра за счет погрешности определения постоянных величин (расстояния между системами датчиков, углов наклона датчиков по отношению к направлению движения колеса).

Известен метод [12], в котором используются две системы датчиков (излучатель-приемник), образующих две точки на поверхности катания измеряемого колеса, причем их положение определяют путем одновременного сканирования лучей системы датчиков. В результате с помощью процессора определяется пространственное положение точек на поверхности катания колеса, вычисляется длина хорды, проходящей через указанные точки, что позволяет определить диаметр круга катания измеряемого колеса. Недостаток данного метода заключается в обеспечении синхронного сканирования двух систем датчиков, расположенных на определенном известном расстоянии друг от друга, а также в низкой надежности функционирования при его реализации на стационарных деповских открытых путях в сложных климатических условиях.

Наиболее известным и эффективно применяемым на практике является первый из двух рассматриваемых бесконтактный метод измерения диаметра колеса подвижного состава, который реализован в системе «Инспектомат» (фирма «Hegenscheidt»). Сущность метода можно пояснить с помощью рис. 1.

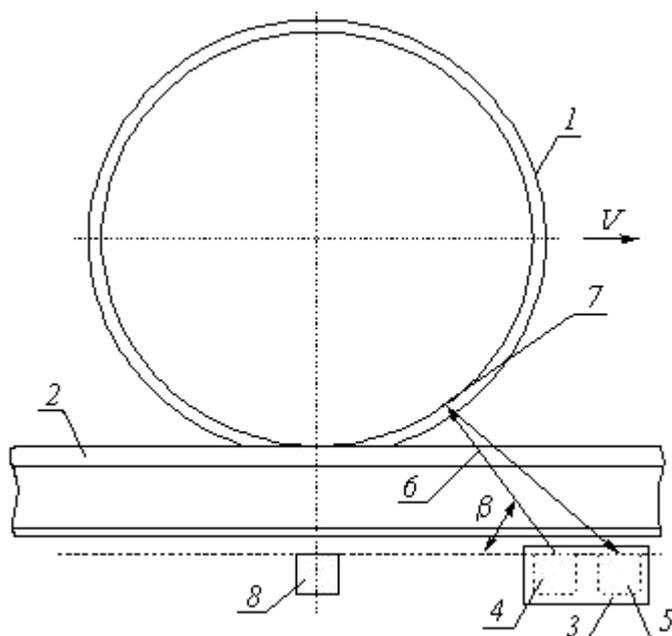


Рис. 1. Геометрия расположения колеса на рельсе при одностороннем размещении датчиков измерительной системы.

Контролируемое колесо *1* перемещается по рельсу *2*, а автоматический регистрирующий приемник (размещается у подошвы рельса) состоит из генератора сканирующего лазерного луча *4* и приемника отраженного излучения *5*. Генератор *4* периодически изменяет угол падения β луча *6* на контролируемую поверхность так, что точка падения *7* перемещается в пределах ширины колеса. Соответственно приемник *5* определяет параметры контролируемой поверхности. Позиция колеса *1* на рельсе *2* фиксируется отдельным датчиком *8*. Измерение диаметра колеса осуществляется в момент совпадения проекции геометрического центра колеса с осью датчика *8*.

Данный метод измерения диаметра колеса основан на локации поверхности катания колеса оптическим лучом, измерении расстояния до поверхности катания в момент прохождения геометрического центра колеса через известную точку (для чего устанавливается датчик *8* определения положения геометрического центра колеса) и вычислении диаметра колеса по результатам измерения расстояния до определенной точки поверхности катания колеса, генератора *4* и приемника *5* оптического локатора и угла наклона оси оптического локатора относительно направления движения колеса со скоростью *V*. В методику измерения расстояния до определенной точки поверхности катания колеса при его движении положен принцип диффузного отражения луча *6* в оптическом канале от поверхности катания колеса. При этом точка излучения и точка приема оптического луча размещаются практически в одном месте и достигается узкая диаграмма направленности датчиков излучения и приема. Алгоритм вычисления диаметра колеса можно пояснить с помощью рис. 2, который аналогичен рис. 1 и содержит те же позиции, но параметры оптического канала представлены более подробно [5–7].

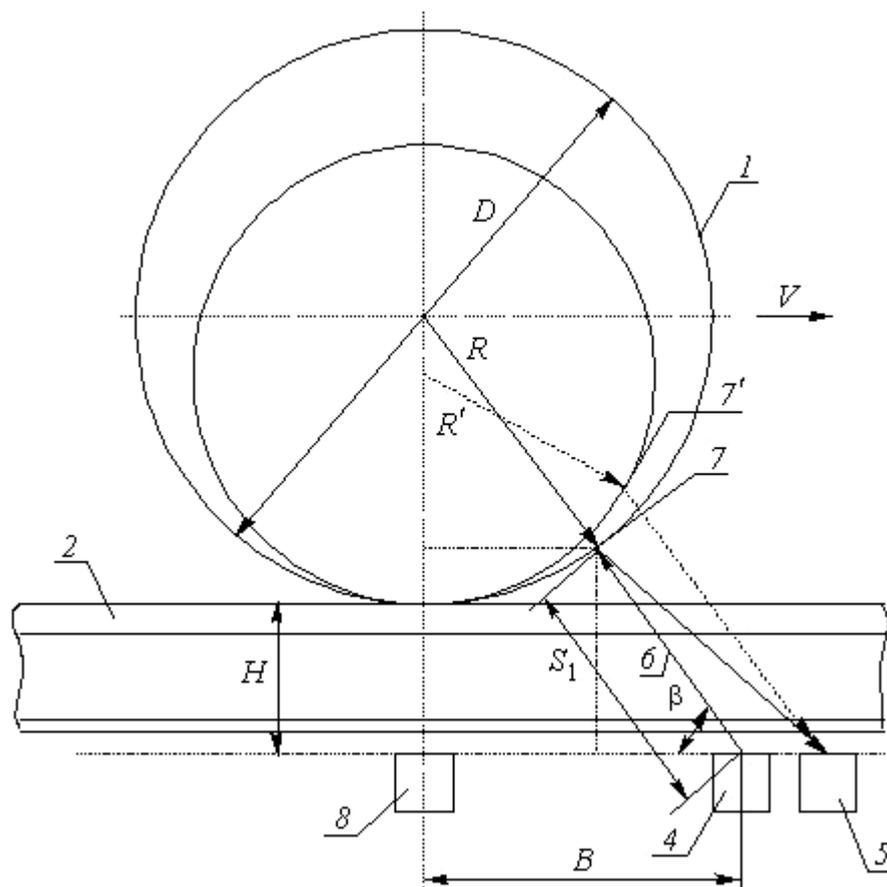


Рис. 2. Геометрия расположения колеса на рельсе при изменении размеров измеряемого колеса по первому методу.

В момент времени, когда проекция геометрического центра колеса совпадает с осью датчика 8, осуществляется измерение расстояния S_1 до точки 7 колеса луча 6 генератора 4. Полагают известными базовое расстояние B между осями датчика 8 и генератора лазерного луча 4, высоту H от плоскости расположения генератора 4 и датчика 8 до опорной поверхности рельса. В результате диаметр колеса находится из формулы

$$D = 2R = \frac{H^2 + B^2 + S_1^2 - 2H \cdot S_1 \cdot (\cos\beta + \sin\beta)}{S_1 \cdot \sin\beta - H}, \quad (1)$$

где D, R – диаметр и радиус измеряемого колеса; B – базовое расстояние между осями генератора 4 и датчика 8; H – высота от плоскости расположения генератора 4 и датчика 8 до опорной поверхности рельса; β – угол наклона лазерного луча.

В случае изменения диаметра измеряемого колеса до значения $2R'$ в результате износа или после его обточки во время ремонта (как показано на рис. 2 пунктиром) увеличивается расстояние S_1 поскольку угол β не изменяется. При этом радиус R' колеса уменьшается, а, следовательно, диаметр D' колеса также уменьшается, но соотношение (1) полностью определяет значение диаметра измеряемого колеса при новом значении расстояния S_1 .

Недостаток этого способа состоит в том, что принцип диффузного отражения исключает применение других типов датчиков, кроме оптических. Оптические датчики обладают низкой надежностью, не работоспособным в условиях тумана, дождя, инея и т.д. Также при использовании принципа диффузного отражения возможно пропадание отраженного сигнала в точке приема в случае идеальной зеркальной поверхности катания колеса, что на практике весьма возможно при образовании масляной пленки на поверхности катания или появления шероховатостей очень малого размера в результате «полирования» поверхности катания колеса в процессе эксплуатации. При этом преобладающим становится

зеркальное отражение, которое приводит к невозможности совмещения точек излучения и приема.

Рассмотрим второй бесконтактный метод измерения диаметра колеса, который используется в автоматизированной системе обмера колесных пар. Его суть состоит в следующем. Контролируемое колесо 1 (см. рис. 3 и 4) перемещается по рельсу 2 по направлению движения со скоростью V , а у подошвы рельса располагаются системы датчиков (излучатель-приемник) 3, 4, 8, 9 и 10, причем датчик 8 включает в себя совмещенную пару датчиков (излучатель-приемник).

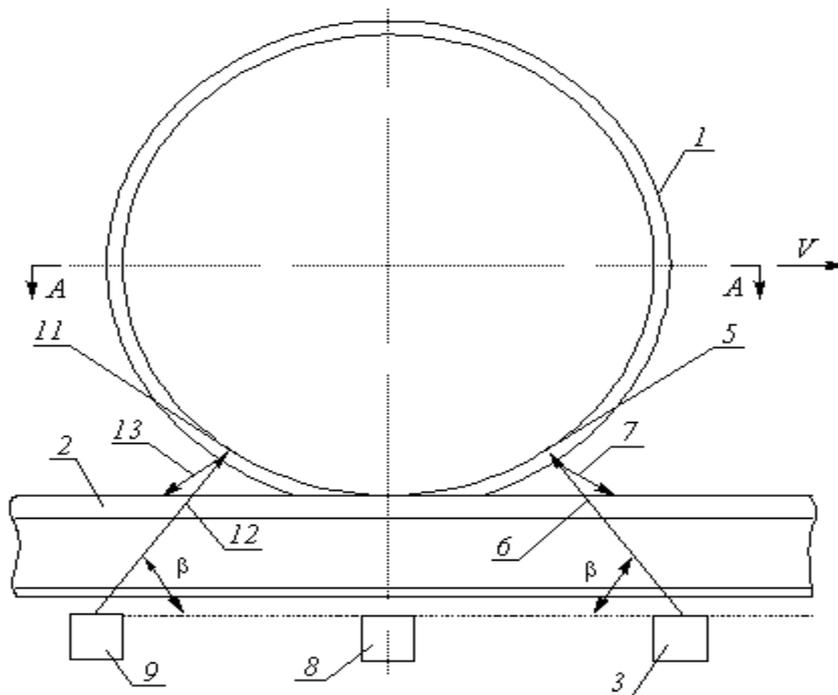


Рис. 3. Геометрия расположения колеса на рельсе при расположении датчиков измерительной системы с обеих сторон рельса.

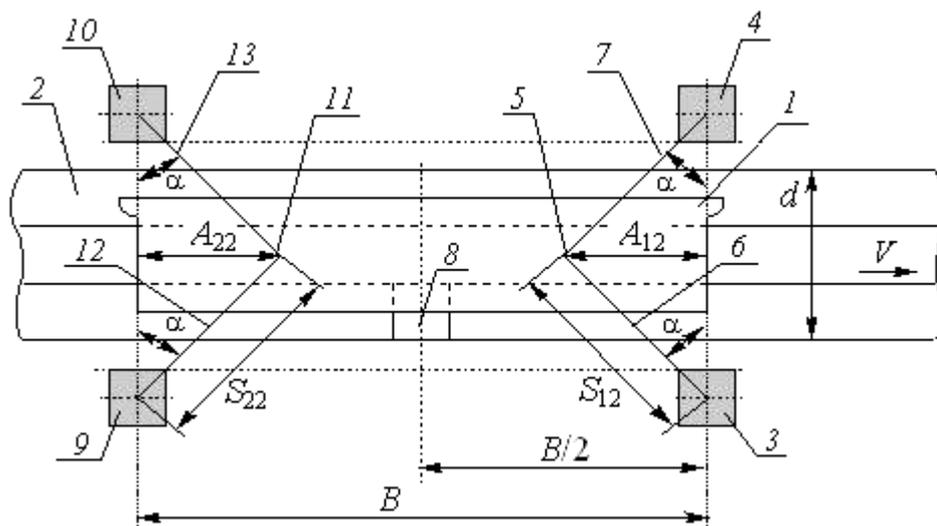


Рис. 4. Проекция измеряемого колеса на рельсе.

Системы датчиков вдоль рельса располагаются на известных расстояниях одна от другой. Системы датчиков 3, 4 и 9, 10 располагаются под углом β (см. рис. 3 и 4) к направлению движения измеряемого колеса, где угол β является углом азимута.

Указанные системы датчиков размещаются по разные стороны рельса (см. рис. 4), поэтому между осью рельса и осью соответствующего датчика образуется угол α («угол места»), который определяет попадание точек падения 5, 11 и лучей 6, 12 (см. рис. 3), на поверхность катания измеряемого колеса. Проекция точек падения 5 и 11 совпадает с осью рельса. Отраженные от точек 5, 11 и лучи 7, 13 под углом α попадают в приемные датчики 4 и 10 (см. рис. 4).

Позиция колеса на рельсе фиксируется либо датчиком 8 (см. рис. 3), представляющим собой совмещенную пару (излучатель-приемник), либо дополнительной системой датчиков 9 и 10 (см. рис. 3 и 4). Измерение диаметра колеса 1 осуществляется в момент совпадения проекции геометрического центра колеса 1 с опорной точкой на рельсе.

Для задания и фиксации опорной точки на рельсе используется датчик 8, который представляет собой совмещенную систему пары датчиков (излучатель-приемник). В этом случае измерение диаметра колеса осуществляется в момент совпадения проекции геометрического центра колеса с осью датчика 8. Другой метод задания опорной точки на рельсе заключается во введении второго излучающего датчика 9 и второго приемного датчика 10.

Датчики 9 и 10 размещаются по разные стороны рельса и ориентированы на облучение поверхности катания уходящего колеса, и также как и первые датчики – излучающий 3 и приемный 4, располагаются по разные стороны рельса и ориентированы на облучение поверхности катания колеса навстречу направлению его движения. В этом случае опорная точка на рельсе определяется в момент равенства измеряемых расстояний в обоих дальномерных каналах, с помощью первой системы датчиков 3 и 4 (излучатель-приемник) и второй системы датчиков 9 и 10 (излучатель-приемник).

Для определения момента равенства измеряемых расстояний в каждом дальномерном канале (первый дальномерный канал – датчики 3 и 4, второй дальномерный канал – датчики 9 и 10) непрерывно запоминают замеряемые расстояния. В момент равенства расстояний в каждом дальномерном канале опорная точка на рельсе совпадает с осью датчика 8 и находится посередине между осью датчиков 3 и 4, осью датчиков 9 и 10.

В основу измерения расстояния до определенной точки поверхности катания колеса при его движении в каждом дальномерном канале положен принцип зеркального отражения зондирующего сигнала излучающих датчиков. При этом точка излучения и точка приема, определяемые положением излучающего и приемного датчиков, размещаются по разные стороны рельса. Причем отраженный сигнал от точки облучения определяется его зеркальной составляющей в каждый момент времени движения колеса со скоростью V . Отражающая точка каждого дальномерного канала располагается по нормали к поверхности катания колеса. Поэтому при движении колеса угол азимута автоматически изменяется без изменения геометрического положения датчиков. Это возможно потому, что диаграмма направленности используемых излучающего и приемного датчиков имеет конечную величину и в пределах диаграммы направленности датчиков осуществляется уверенный прием зеркальной составляющей отраженного от определенной точки поверхности катания колеса сигнала при движении колеса. Зона уверенного приема зеркальной составляющей отраженного сигнала определяет рабочий диапазон измеряемых расстояний.

Разработан алгоритм вычисления диаметра колеса, который можно описать с помощью рис. 4 и 5.

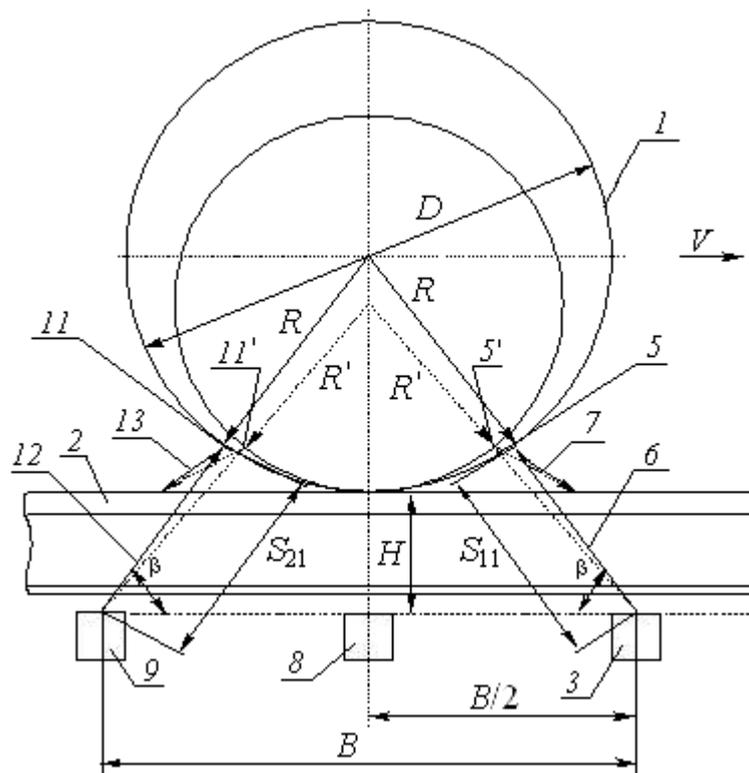


Рис. 5. Геометрия расположения колеса на рельсе при изменении размеров колеса по второму методу.

Вычисление диаметра колеса производится в момент времени, когда его геометрический центр проходит над опорной точкой на рельсе. Причем опорная точка на рельсе может определяться как с использованием датчика 8, так и с использованием датчиков 9 и 10. При задании опорной точки на рельсе 2 с помощью датчика 8 алгоритм вычисления диаметра колеса в рассматриваемом измерительном комплексе будет следующий.

В момент времени, когда проекция геометрического центра колеса совпадает с осью датчика 8, осуществляется измерение расстояния S_1 от плоскости расположения излучающего датчика 3 до точки 5 падения луча 6 и точно такого же расстояния от точки 5 до плоскости расположения приемного датчика 4. Расстояние S_1 (см. рис. 5) показано его проекцией S_{11} сбоку, а на рис. 5 – его проекцией S_{12} сверху. Для вычисления диаметра колеса необходимо знать расстояние по нормали к поверхности катания колеса от точки 5 до оси расположения излучающего и приемного датчиков 3 и 4 (см. рис. 5), изображенного в виде его проекции A_{12} (сверху).

Для определения этого расстояния используется формула

$$A_1 = \sqrt{S_1^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad (2)$$

где S_1 – расстояние от плоскости расположения излучающего датчика 3 до точки 5 падения луча 6 и расстояние от точки 5 до плоскости расположения приемного датчика 4; d – известное расстояние между осями датчиков 3 и 4 в плоскости рельса; A_1 – расстояние по нормали к поверхности катания колеса от точки 5 до оси датчиков 3 и 4.

При известных базовом расстоянии $B/2$ между осью датчика 8, осью датчиков 3 и 4 (см. рис. 4), высоте H от плоскости расположения датчика 8, датчиков 3 и 4 до опорной поверхности рельса (см. рис. 5), вычисленном значении расстояния A_1 диаметр колеса определяется по формуле

$$D = 2R = \frac{4H^2 + B^2 - 4A_1^2}{4(A_1 - H)}, \quad (3)$$

где D и R – диаметр и радиус измеряемого колеса; H – расстояние от плоскости расположения датчика 8 до опорной поверхности рельса; A_1 – расстояние по нормали к поверхности катания колеса от точки 5 до оси расположения датчиков 3 и 4.

Если подставить выражение (2) в формулу (3), то по измеренному расстоянию S_1 в момент совпадения проекции геометрического центра колеса с опорной точкой на рельсе (в данном случае с осью датчика 8) может быть вычислен диаметр колеса как [7]

$$D = 2R = \frac{4H^2 + B^2 - 4S_1^2 + d^2}{2(\sqrt{4S_1^2 - d^2} - 2H)}. \quad (4)$$

При определении опорной точки на рельсе с помощью излучающего и приемного датчиков 9 и 10 алгоритм вычисления диаметра состоит в следующем. При движении измеряемое колесо (см. рис. 5) попадает в зону действия дальномерных каналов, образованных датчиками 3 и 4, 9 и 10. При этом каждый дальномерный канал измеряет расстояние до определенной точки на поверхности катания колеса.

В первом дальномерном канале (излучающий датчик 3 и приемный датчик 4) измеряется расстояние S_1 (проекция 1 сбоку изображена на рис. 5 в виде отрезка S_{11} , а его проекция сверху S_{12} представлена на рис. 5), характеризующее дальность нахождения точки 5 падения луча 6 от излучающего датчика 3. Точно такое же расстояние S_1 соответствует отрезку от точки 5 до приемного датчика 4. В процессе измерения расстояние S_1 запоминается, образуя некоторую траекторию его изменения при движении колеса.

Во втором дальномерном канале (излучающий датчик 9 и приемный датчик 10) происходит измерение расстояния S_2 (проекция S_2 сбоку показана на рис. 4 в виде отрезка S_{21} , а проекция S_2 сверху изображена на рис. 3 в виде отрезка S_{22}), отражающего дальность нахождения точки 11 от излучающего датчика 9. Точно такое же расстояние S_2 имеет место от точки 11 до приемного датчика 10 (см. рис. 4). В процессе измерения расстояние S_2 запоминается, образуя некоторую траекторию при движении измеряемого колеса. Причем, если расстояние S_1 изменяется на интервале наблюдения от своего максимального значения $S_{1\text{макс}}$ до минимальной величины $S_{1\text{мин}}$, то расстояние S_2 наоборот изменяется от минимального значения $S_{2\text{мин}}$ до максимальной величины $S_{2\text{макс}}$.

При нахождении колеса 1 посередине между осями датчиков первого и второго дальномерных каналов расстояния S_1 и S_2 становятся равными и это определяет положение опорной точки на рельсе. В момент времени, когда $S_1 = S_2$, определяется диаметр измеряемого колеса. При этом может быть использована информация либо первого, либо второго дальномерного канала.

Если использовать измеренные данные первого дальномерного канала, то в момент времени достижения равенства $S_1 = S_2$ находят расстояние A_1 по нормали к поверхности катания колеса 1 от точки 5 до оси датчиков 3 и 4 в соответствии с формулой (2), которая получена из рассмотрения прямоугольного треугольника с катетами A_1 , $d/2$ и гипотенузой S_1 .

Диаметр измеряемого колеса 1 определяется из формулы (4), которая справедлива для определения опорной точки на рельсе с использованием датчиков 9 и 10. Эта формула получена из рассмотрения прямоугольного треугольника с катетами $(R + H)$, $B/2$ и гипотенузой $(R + A_1)$.

Подобным образом можно определить диаметр измеряемого колеса при использовании измеренных значений информационных параметров во втором дальномерном канале, где имеется информация о расстоянии S_2 , а отрезок A_2 находится из формулы аналогично (2).

Таким образом, исследованы различные бесконтактные методы измерения колеса локомотива, выделены два метода, которые целесообразны для практического применения. Из анализа следует, что рассмотренные методы измерения диаметра имеют приблизительно

одинаковые потенциальные характеристики, Однако, второй метод наиболее предпочтителен, так как в нем реализованы:

- использование зеркальной составляющей отраженного сигнала;
- расположение излучающего и приемного датчиков каждого дальномерного канала по разные стороны рельса;
- независимость метода измерения диаметра колеса от диапазона рабочих частот и типа датчиков (оптические, электромагнитные, ультразвуковые и т.п.);
- инвариантность метода к углу азимута локационной системы по отношению к направлению движения колеса.

Алгоритмы и рассмотренные технические предложения положены в основу создания автоматизированной системы обмера колесных пар.

Список литературы:

1. Буйносов, А.П., Наговицын В.С. Измерение бандажей // Локомотив. – 1995. – № 12. – С. 27–28.
2. Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С. Правильно измеряйте износ бандажей // Электрическая и тепловозная тяга. – 1991. – № 12. – С. 36–37.
3. Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П. Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. – 1998. – № 10. – С. 8–10.
4. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография. – М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. – 244 с.
5. Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С. Бесконтактное измерение бандажей колесных пар // Железнодорожный транспорт. – 1995. – № 11. – С. 34–36.
6. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. – 1996. – № 12. – С. 17–19.
7. Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С. Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. – 1995. – № 11. – С. 34–36.
8. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм: ЦТ/329. – М.: Транспорт, 2001. – 126 с.
9. Горский А.В., Воробьев А.А., Буйносов А.П. Система для контроля диаметров бандажей колесных пар // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении: Реф. сб./ ЦНИИТЭИтяжмаш. – 1990. – 9-90-09. – С. 38–44.
10. Новицкий П.В., Зограф И.Л. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 301 с.
11. Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Наговицын В.С. Измерение параметров колесных пар // Информационные технологии и электроника: Тез. докладов II-ой ВС науч. – техн. конф. – 15–16 дек. 1997 г. – Екатеринбург, 1997. – http://www.uicde.ru/conf/dec9/тез_упи1.
12. Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П. Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 7. – С. 40–44.

Т. Х. Бадретдинов к.т.н., А. Г. Горюнов к.т.н., В. А. Курочкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок
Россия, г. Томск
alex1479@tpu.ru

СИСТЕМА ТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Предложено решение для модернизации системы дозирования сыпучих материалов, состоящей из бункера, шнекового питателя, привода питателя, системы автоматизированного управления процессом дозирования.

Ключевые слова: шнековый питатель, пламенный реактор, аппарат комбинированного типа, электропривод, система автоматизированного управления, бункер.

Дозирующие устройства тонкодисперсных твердых порошков являются одним из важнейших элементов комплексной автоматизации и механизации производственных процессов в химической технологии. К таким процессам в технологии производства гексафторида урана относятся процессы фторирования и улавливания, осуществляемые в пламенном реакторе (ПР) и аппарате комбинированного типа (АКТ), где в качестве дозирующего устройства используются шнековые питатели [1].

В настоящее время на Сублиматном заводе Сибирского химического комбината внедрена многофункциональная автоматизированная распределенная система управления технологическими процессами в ПР и АКТ. Регулирующим органом в этих аппаратах, компенсирующим возмущения в реакционной зоне, является шнековый питатель.

Однако в процессе промышленной эксплуатации АСУ ТП неоднократно были отмечены случаи, когда нарушалась равномерность подачи сырья, что приводило к появлению значительных возмущений в системе регулирования. В этой связи назрела необходимость модернизации системы точного дозирования сыпучих материалов, состоящей из бункера, шнекового питателя, привода питателя, системы автоматизированного управления процессом дозирования, обеспечивающей равномерную подачу сыпучих материалов в аппараты ПР, АКТ производства гексафторида урана.

Узким местом существующей системы является электропривод, который выполнен на устаревшей элементной базе, что приводит к частому выходу привода из строя, а так же не позволяет реализовывать необходимые для качественного управления процессом, законы и алгоритмы управления.

Для обеспечения всех требований и потребностей производства предпринята попытка создать универсальное устройство управления электродвигателями, которое позволяет управлять двигателями асинхронными, синхронными и постоянного тока до трех одновременно, а также обеспечивает: безударные реверс и динамическое торможение, реализацию цифровых локальных контуров регулирования различных технологических переменных и различного рода защит и блокировок, возможность обновления программного обеспечения и связь с верхним уровнем по интерфейсам USB, RS-485, Ethernet [2].

В составе устройства (рис. 1) использованы модуль управления приводом PU400, модуль сбора и передачи данных PC100, многофункциональный модуль распределенного аналогового ввода AI100, системное программное обеспечение – ядро реального времени «МРСоре» производства ЗАО «Инкоммет» [3].

Во время тестирования устройства с двигателями постоянного тока была выявлена существенная нелинейность зависимости частоты вращения от скважности ШИМ. Как было

установлено, причиной нелинейности являются колебательные процессы на фронтах ШИМ сигнала (рис. 3). Колебательные процессы возникают из-за того, что параллельно обмотке якоря, в двигателе постоянного тока, устанавливают конденсаторы, препятствующие искрению щеток коллектора, которые совместно с индуктивностью обмотки якоря образуют колебательный контур.



Рис. 1. Структурная схема устройства управления электроприводом.

Для устранения колебательного контура в силовую цепь устройства, последовательно нагрузке, был установлен дроссель.

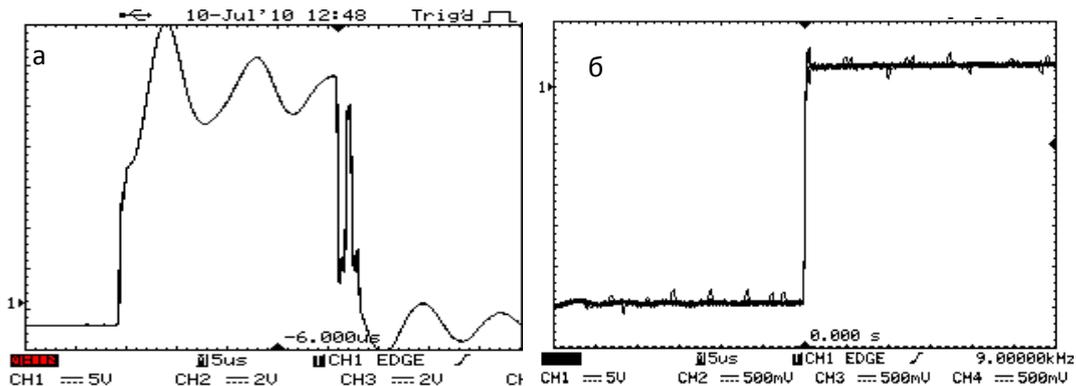


Рис. 2. Осциллограммы напряжения на обмотке якоря, при заклиненном вале двигателя: а – без дросселя, б – с дросселем.

При использовании типового тахогенератора удалось обеспечить, на всем диапазоне нагрузок и частоте вращения (5-100)% точность регулирования 1.5%. Как видно из рисунка 3, при изменении нагрузки на валу двигателя (МИ42Т) на 2/3 от номинальной мощности (1кВт), время регулирования составляет чуть более секунды при доверительном интервале 1,5%.

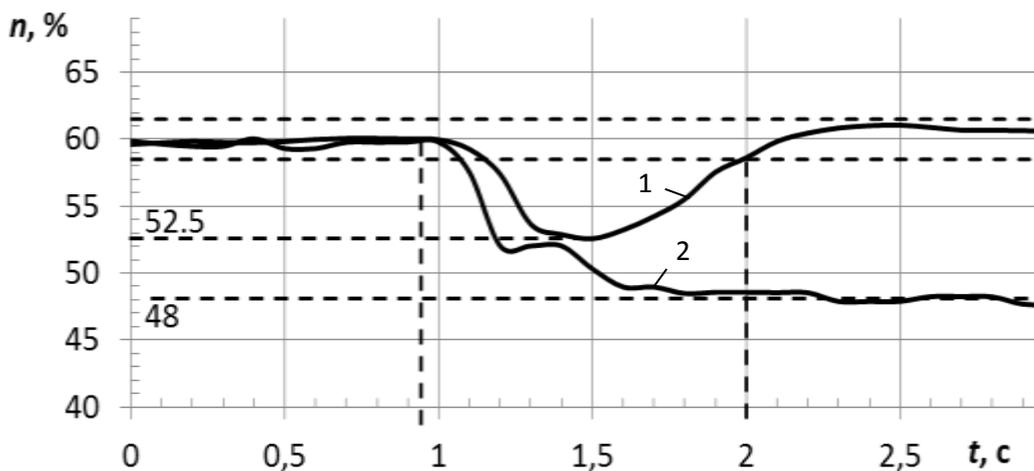


Рис. 3. Переходный процесс по возмущению, при увеличении нагрузки на валу двигателя на 2/3 от номинальной мощности: 1 – замкнутая система, 2 – разомкнутая система.

Устройство управления позволяет строить до трех канальных систем управления (рис. 3) с исполнительными механизмами пропорциональной скорости. Это позволяет создавать компактные и гибкие системы. [4]

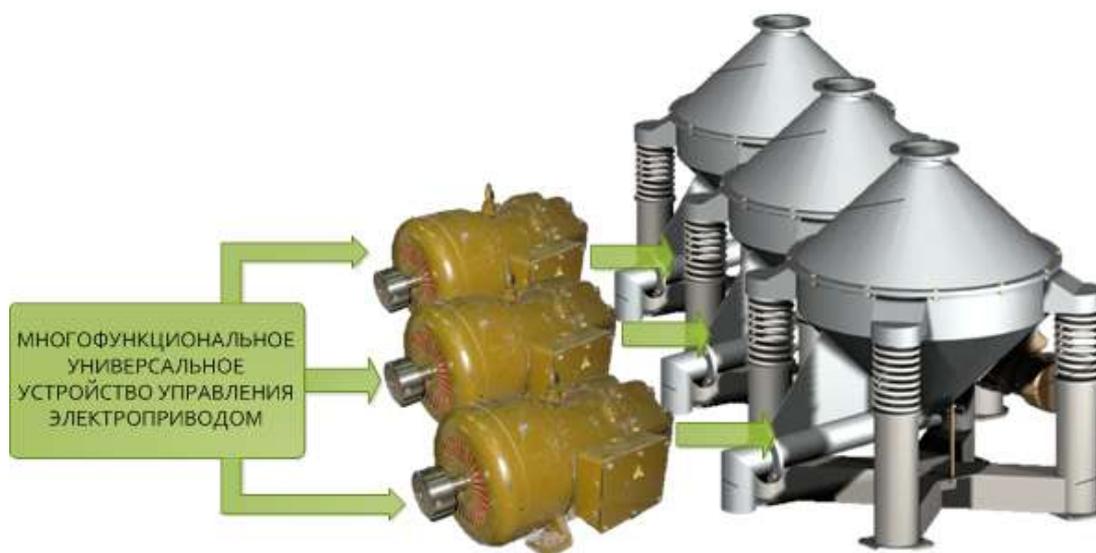


Рис. 4. Пример системы управления с исполнительными механизмами пропорциональной скорости.

Также процесс дозирования существенно зависит от характера истечения сыпучего материала из бункера, так как дозирующее устройство промышленной установки ГФУ в технологической цепочке установлено после бункера. Недостатки, присущие бункеру подачи сыпучего материала в ПР (в дальнейшем будем рассматривать только его ввиду идентичности бункеру аппарата АКТ) достаточно характерны: образование статических сводов над выпускным отверстием, отложение материала на стенках бункера и образование вертикально движущегося столба в процессе истечения над отверстием, в то время как окружающий этот столб материал представляет собой застойную зону [5].

Расчет и проектирование формы бункера проведен с учетом влияния физико – механических свойств оксидов урана и полупродуктов на требуемую точность дозирования.

Также учитываются условия подачи сыпучего материала в бункерное устройство из существующей системы пневмотранспорта производства полупродуктов из АКТ в ПР.

На рис. 3 показана конструкция бункера, три стенки которого выполнены вертикально и одна под углом 70° . Наклонная стенка цилиндрической формы (радиус равен примерно $2/3$ ширины бункера) уменьшает вертикальное давление на нижние слои.

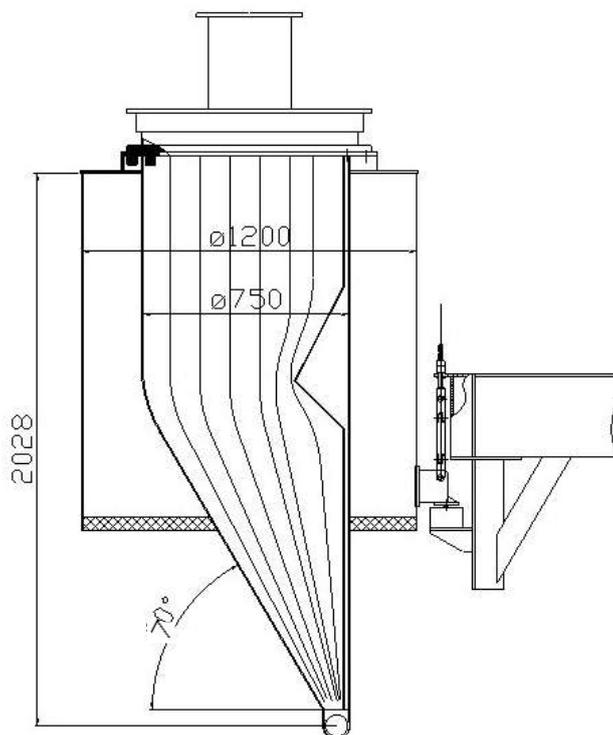


Рис.5 Бункер с разгрузочным выступом.

В стенке, противоположной наклонной, расположен разгрузочный выступ, который способствует разрыхлению материала в зоне выпуска. Это способствует равномерному и беспрепятственному истечению сыпучего материала по всему сечению бункера с последующей его транспортировкой в ПР шнековым устройством. Противоударный козырек выполняет функцию защиты шнека от статического и динамического давления вышележащих слоев.

Заключение.

Разработанная система точного дозирования сыпучих материалов позволит значительно повысить равномерность подачи сырья, снизить эксплуатационные расходы, повысить надежность системы и качество выходного продукта, а также, путем изменения программного обеспечения привода, дает возможность дальнейшего совершенствования системы.

Список литературы:

1. *Ефремов Е.В., Ливенцов С.Н.* Применение шнеков в автоматических дозаторах трудносыпучих материалов. // Известия Томского политехнического университета, 2008. – т. 313 – № 2. – С. 37–42
2. *Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Байдали С.А., Курочкин В.А.* Пат. на полезную модель №107428 Российская Федерация. Устройство управления асинхронным двигателем и двигателями постоянного тока. патентообладатель ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», общество с ограниченной ответственностью «ОСТом». Заявка № 2011100862; зарегистр.
3. Комплекс технических средств «МИКОН». Комплекс системного обеспечения. Ядро реального времени MPCore [Электронный ресурс]: Техническое описание // ЗАО «ИНКОММЕТ»: [сайт]. URL: <http://www.inkommet.ru> (дата обращения 03.02.2011)
4. *Горюнов А.Г., Курочкин В.А., Байдали С.А.* Многофункциональное универсальное устройство управления электроприводом. //Цветные металлы. 2011. №7. С. 72-76.
5. *Рогинский Г.А.* Дозирование сыпучих материалов. М., Химия, 1978.

В. Ф. Беккер к.т.н., М. Г. Гребенева

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

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ ШУХАРТА

Рассматривается управление качеством продукции с использованием карт Шухарта на примере обжига известняка в производстве кальцинированной соды. Выявлены основные причины нарушений технологического режима. Определены мероприятия, проведение которых необходимо для разрешения возникающих проблем. Представлена последовательность поиска управляющих воздействий. Показана эффективность такого управления качеством.

Ключевые слова: обжиг известняка, качество продукции, параметры технологического режима, карты Шухарта.

Для того чтобы определить состояние (степень стабильности) протекания процесса обжига, построены карты Шухарта, характеризующие содержание кислорода в газе известково-обжигательных печей (ИОП) по отдельным печам и из общего коллектора в течение одной недели января 2011 г. Ранее, из анализа диаграмм Парето [1], было показано, что нарушения по содержанию кислорода в газе известково-обжигательных печей (норма не более 1,5%) являются одной из причин, устранив которые, можно добиться значительного улучшения производственных показателей цеха извести.

Контрольная карта Шухарта служит для наблюдения за протеканием процесса и для выявления отклонений от нормального хода событий [2]. Для построения контрольной карты проводится предварительный сбор достаточно большого количества данных (замеров), выполненных в ходе процесса, а также соответствующая обработка этих данных. Для задания критериев поиска серий точек область контрольной карты над центральной линией и под ней делится на три зоны *A*, *B*, *C*. [3]. *Зона A* определяется как область, расположенная на расстоянии от 2 до 3 среднеквадратичного отклонения σ по обе стороны от центральной линии. *Зона B* определяется как область, отстоящая от центральной линии на расстояние от 1 до 2 σ , а *зона C* – как область, расположенная между центральной линией по обе ее стороны и ограниченная прямой, проведенной на расстоянии одной σ от центральной линии.

Карты Шухарта, приведенные на рис.1- 5, были построены за период 10-16 января 2011 г. В течение этого периода печи №1, №2, №3, №5, №6 находились в работе в разное время в течение недели. Газ этих печей очищался от пыли и выводился в общий коллектор, после этого направлялся в цех кальцинированной соды (время в пути ~ 20 мин.), где также анализировался по тем же показателям, с применением аналогичной методики.

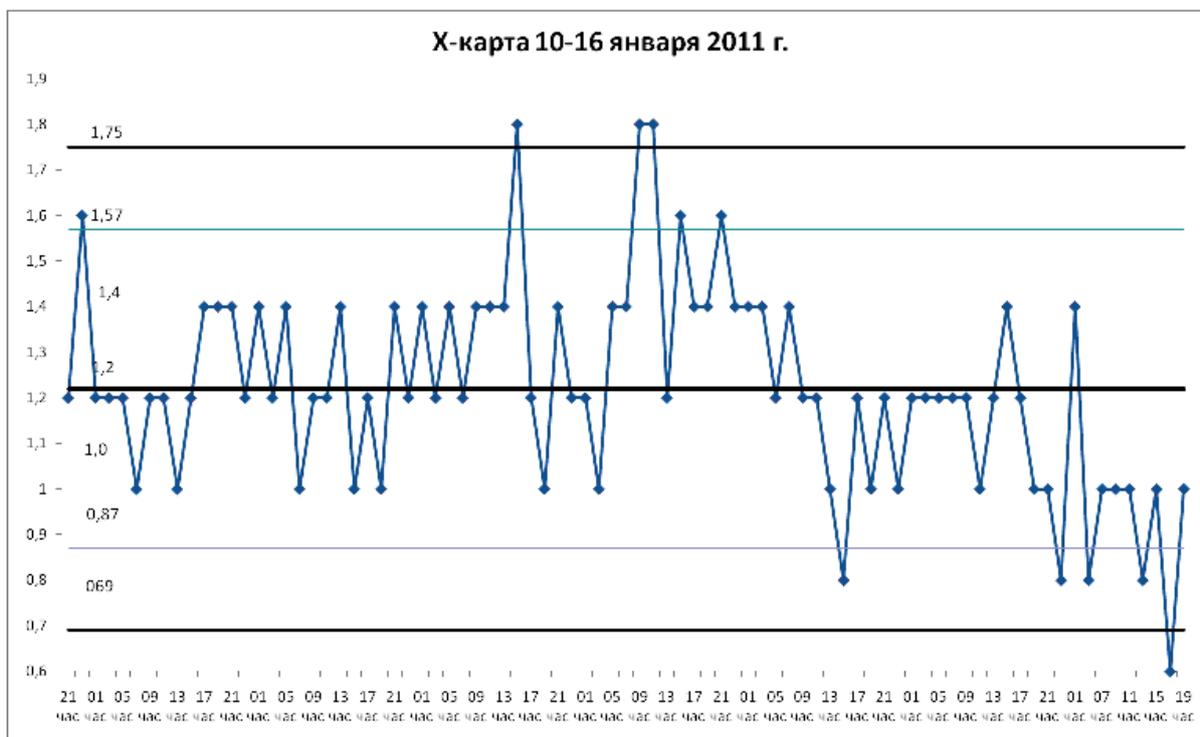


Рис. 1 – X-карта содержания кислорода в общем коллекторе газа при верхней контрольной границе – ВКГ=1,75.



Рис. 2 – X-карта содержания кислорода в газе известково-обжигательной печи №1 при ВКГ=1,65.



Рис. 3 – X-карта содержания кислорода в газе известково-обжигательной печи №2 при ВКГ=1,68.



Рис. 4 – X-карта содержания кислорода в газе известково-обжигательной печи №3 при ВКГ=1,52.

Проанализировав карты Шухарта, построенные по показателю «Объемная доля кислорода в газе ИОП» для пяти ИОП, работающих в период с 10 по 16 января 2011 г., можно сделать следующие выводы:

1. Карты показывают, что процесс не находится в статистически управляемом состоянии, т.к.:

– на X-карте для ИОП № 3 имеют место 14 попеременно возрастающих и убывающих точек,

– на X-картах ИОП № 1 и № 6 есть точки, находящиеся вне зоны *A*,

– две из трех последовательных точек в зоне *A* (ИОП № 6),

– четыре из пяти последовательных точек в зоне *B* (ИОП № 2), и т.д.

Необходимо выявить и устранить особые причины, влияющие на процесс, для того, чтобы привести его в состояние статистической управляемости.

2. Полученные значения верхней контрольной границы на всех картах выше регламентируемой (согласно регламенту норма кислорода должна быть 1,5 %) и имеют разбег от 1,52 до 1,86%.



Рис. 5 – X-карта содержания кислорода в газе известково-обжигательной печи №5 при ВКГ=1,86.



Рис. 6 – X-карта содержания кислорода в газе известково-обжигательной печи №6 при ВКГ=1,78.

Проанализировав карты Шухарта, построенные по показателю «Объемная доля кислорода в газе» для пяти известково-обжигательных печей, работавших в период с 10 по 16 января 2011 г., можно сделать следующие *выводы*:

1. Карты показывают, что процесс не находится в статистически управляемом состоянии, т.к.:

- на X-карте для ИОП № 3 имеют место 14 попеременно возрастающих и убывающих точек,
- на X-картах ИОП № 1 и № 6 есть точки, находящиеся вне зоны A,

- две из трех последовательных точек в зоне *A* (ИОП № 6),
- четыре из пяти последовательных точек в зоне *B* (ИОП № 2), и т.д.

Необходимо выявить и устранить основные причины, влияющие на процесс, чтобы привести его в состояние статистической управляемости.

2. Полученные значения верхней контрольной границы на всех картах выше регламентируемой (согласно регламенту норма кислорода должна быть не более 1,5%) и имеют разбег от 1,52 до 1,86%.

3. Все значения объемной доли кислорода в газе ИОП кратны двум, т.е. «чувствительность» методики количественного химического анализа – 0,2% объемной доли. Это значит, что норма содержания кислорода в газе ИОП «не более 1,5%» по определению не может быть измерена, т.к. значений «1,5» не кратно двум. Например, при регламентированном содержании кислорода в газе, равном 1,4 % объемной доли, в течение следующих двух (отбор из общего коллектора) или четырех (отбор после печей) часов содержание кислорода может оказаться равным 1,6 % объемной доли. Это является нарушением нормы технологического регламента. В такой ситуации опередить наступление нежелательного события невозможно, следовательно, речь идет уже только об исправлении ситуации, а не о регулировании с целью соблюдения регламентных норм. Учитывая значительную инерционность процесса обжига, эффективность такого способа ведения процесса может оказаться сомнительной. Для того, чтобы надежно регулировать объемную долю кислорода в газе ИОП не более 1,5 %, необходимо четко различать значения 1,5 и 1,6 (по последней значащей цифре). Следовательно, абсолютная погрешность применяемой методики не должна превышать трети, в обоснованном случае – половины этого интервала. Существующая методика с абсолютной погрешностью $\pm 0,6\%$ не позволяет определять нечетные значения объемной доли кислорода, в т. ч. и граничное значение – 1,5 % и, кроме того, не обеспечивает надлежащую точность измерений.

На следующем этапе анализа полученных результатов работы, используя построенные карты индивидуальных значений объемной доли кислорода в газе ИОП за 10-16 января 2011 г. и журналы рапортов начальников смен цеха обжига извести, определены неслучайные события (причины), способные привести процесс обжига (по показателю – содержание кислорода в газе ИОП) в неуправляемое состояние. После сопоставления всех карт и записей в журналах рапортов были выявлены наиболее вероятные причины, дестабилизирующие процесс (необходимо отметить, что в этот период поломок оборудования не было), основными из которых являются:

– Несбалансированные нагрузки цехов по диоксиду углерода, связанны с нестабильной нагрузкой аппаратов в технологической цепи производства кальцинированной соды;

– Имело место включение ИОП № 1 в общий коллектор сразу же после разогрева, т.е. когда печь еще не вошла в необходимый режим;

– При работе практически всех ИОП. контрольные перевески топлива показывали отклонения от установленной величины массы загружаемой шихты. Необходимо отметить, что дозировку топлива устанавливают, исходя из анализа работы печей (расчеты при этом отсутствуют), т.е. процесс пуска ИОП, длящийся 1 – 1,5 суток, регулируется со значительным запаздыванием по конечному результату. Если проводить анализ топлива перед загрузкой, то можно рассчитать необходимую массу топлива, исходя из достоверного его качества. В настоящее время невозможно складировать топливо разных производителей с разными показателями качества из-за малых площадей склада. Кроме того, атмосферные осадки являются причиной различной влажности топлива, и этот факт также не учитывается при нормировании массы топлива;

– Имеет место «человеческий фактор», т.е. чаще всего нарушения норм технологического режима допускают одни и те же смены;

– Нередки случаи «разовых» отклонений содержания кислорода от норм технологического режима, когда на протяжении значительного времени до и после точки,

находящейся за верхней контрольной границей, содержание кислорода стабильно соответствует норме. Например, газ из общего коллектора первая и последняя точки, выходящие за верхнюю и нижнюю контрольные границы (см. рис. 1), Это значит, что возможны случаи ошибочного определения объемной доли кислорода из-за субъективных или методических ошибок.

После проведения этапа «Анализ проблем» были определены мероприятия, призванные решить проблемы нарушений норм технологического режима по содержанию кислорода в газе ИОП. Некоторые из этих мероприятий проведены сразу после выявления необходимости их проведения, другие запланированы на период остановочного ремонта.

Для того чтобы определить возможное влияние повышенного содержания кислорода в газе ИОП на появление брака в готовой продукции были отобраны соответствующие данные потребителя газа – отделения карбонизации цеха кальцинированной соды. Проанализировали два периода: 21-22 февраля 2011 г. (33% нарушений по кислороду) и 5-6 февраля 2011 г. (нарушений по кислороду не зафиксировано). С учетом временного интервала были выбраны данные по содержанию кислорода. Несоответствий за оба периода не выявлено. Это значит, что повышенное, по сравнению с регламентной нормой, содержание кислорода в газе ИОП не оказывает значимого влияния на качество продукта последующей стадии – карбонизации аммонизированного рассола, по крайней мере, до определенного предела. Однако следует провести такой анализ на выборке большего объема с целью исключения ошибочных выводов.

Список литературы:

1. Беккер В.Ф., Гребенева М.Г. Управление качеством продукции обжига известняка построением диаграммы Парето. Научно-технический вестник Поволжья, №4, 2011. – С. 97-101.
2. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91) «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта».
3. Эванс Дж. Управление качеством. М.: Юнити-Дана, 2007. – 637 с.

И. В. Березин, П. Д. Кравченко д.т.н.*, Д. Н. Федоренко,
И. М. Яблоновский*****

*НИИ Перспективных технологий Волгодонского института сервиса (филиала) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса
Россия, г. Волгодонск
krapa21@yandex.ru

**Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса
Россия, г. Волгодонск

***Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса
Россия, г. Волгодонск

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ

Статья посвящена особенностям процедуры поиска во время нахождения лучшего технического решения при создании автоматических грузозахватных устройств. Описаны несколько изобретений устройств для работы в радиоактивной зоне при действии силы тяжести.

Ключевые слова: автоматические грузозахватные устройства; эвристический поиск решения.

Спасательные операции при чрезвычайных ситуациях в опасных средах и демонтажные операции при снятии АЭС с эксплуатации требуют применения автоматических грузозахватных устройств (АГЗУ) для работы с различными объектами

Рассмотрим практические приемы, использовавшиеся авторами при создании новых конструктивных схем АГЗУ для работы с объектами типа сплошного металлического прутка, трубки, каната, многогранника, являющихся захватными элементами объектов, подлежащих захвату, перемещению и установке на требуемую технологическую позицию.

Из многих общих методических приёмов эвристического поиска новых технических решений, представленных во множестве известных работ по методике изобретательского поиска мы выбрали в качестве основного конструктивного направления методические приёмы, представленные в учебнике А.И. Половинкина [1]. В общем виде указанная методика представлена в монографии [2], представляющей множество конструкторских решений.

Рассмотрим процесс эвристического поиска лучшего технического решения путем упрощения конструктивных схем, имеющих существенную новизну, и повышения надежности их эксплуатации.

Штыревое АГЗУ, работающее на принципе использования клинового эффекта [3], создано с использованием множества «подсказок» из приложения 2 [1], основными определяющими были приёмы из разделов преобразования формы, структуры, приёмов дифференциации, преобразования по аналогии и повышения технологичности. Представленное на рисунке 1 АГЗУ состоит из корпуса 1 с вертикальным пазом 2, предназначенным для ориентации и размещения объекта 3 в виде прутка. В корпусе 1 размещены штыревой захватный орган 4 с пружиной 5 и штыревой управляющий орган 6 с пружиной 7. В корпусе 1 также размещён отводящий клин 8, силовое замыкание которого с

взаимодействующими с ним штыревым захватным органом 4 и штыревым управляющим органом 6 обеспечивается действием собственного веса отводящего клина 8 или пружиной.

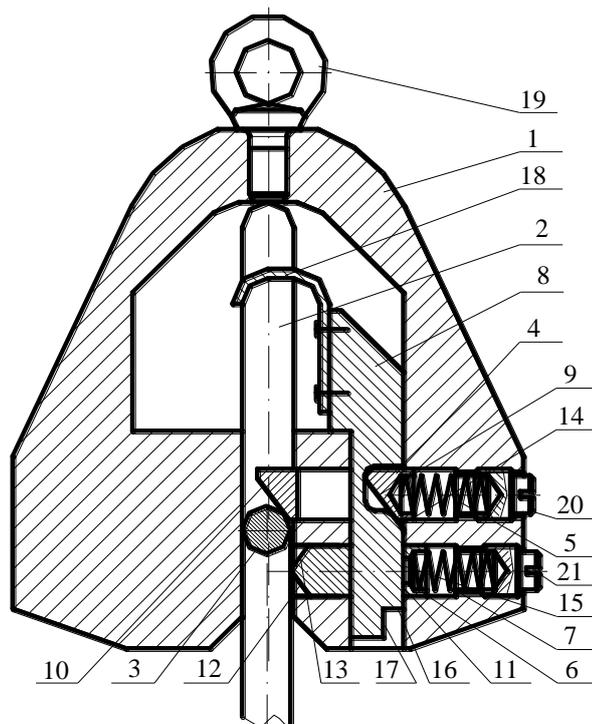


Рис. 1 Общий вид АГЗУ в исходном положении.

Штыревой захватный орган 4 выполнен с наклонной поверхностью 9 для взаимодействия с отводящим клином 8 и с наклонной поверхностью 10 для взаимодействия с объектом 3 при его захвате. Штыревой управляющий орган 6 имеет паз, задняя стенка 11 которого взаимодействует с отводящим клином 8, наклонной поверхностью 12 для взаимодействия с объектом 3 при вхождении его в паз 2 при захвате и наклонной поверхностью 13 для взаимодействия с объектом 3 при его освобождении. Отводящий клин 8 выполнен с наклонной поверхностью 14 и задней кромкой 15 для взаимодействия с наклонной поверхностью 9 штыревого захватного органа 4, с вырезом 16 и задней кромкой 17 этого выреза для взаимодействия с задней стенкой 11 паза штыревого управляющего органа 6 и с зацепом 18, перекрывающим вертикальный паз 2 над штыревым захватным органом 4. Задняя кромка 15 отводящего клина 8 взаимодействует также с задней стенкой 11 паза штыревого управляющего органа 6. Смещение центра тяжести всего устройства вниз и его размещение на оси подвеса груза, обеспечивающее максимальную устойчивость устройства при взаимодействии с объектом 3, осуществляется формой корпуса 1 или вставками. Навешивание устройства на грузовой крюк крана осуществляется за рым-болт 19. Регулировка усилия поджатия пружин 5 и 7 осуществляется винтами 20 и 21.

Устройство работает следующим образом: подвешенное на грузовой крюк крана АГЗУ в исходном состоянии опускают на объект 3, который заходит в вертикальный паз 2 корпуса 1.

При опускании устройства объект 3 упирается в наклонную поверхность 10 штыревого захватного органа 4, скользит по ней и перемещает штыревой захватный орган 4 вправо, сжимая пружину 5 и освобождая дальнейший проход для объекта 3 по вертикальному пазу 2.

После прохода объекта 3 пружина 5 перемещает штыревой захватный орган 4 в исходное положение, перекрывая вертикальный паз 2. Устройство поднимают. При этом штыревой захватный орган 4 подхватывает объект 3 вместе с грузом. Груз поднимают, переносят в необходимую точку и опускают на горизонтальную поверхность или фиксируют. При дальнейшем опускании устройства объект 3, оставаясь на месте, вступает во

взаимодействие с зацепом 18 отводящего клина 8. Отводящий клин 8 останавливается, а все остальные элементы устройства продолжают опускаться. Наклонная поверхность 14 отводящего клина 8 взаимодействует с наклонной поверхностью 9 штыревого захватного органа 4, скользит по ней и перемещает штыревой захватный орган 4, сжимая пружину 5, и открывает вертикальный паз 2 для выхода объекта 3. Наклонная поверхность 9 штыревого захватного органа 4 переходит на заднюю кромку 15 отводящего клина 8 и скользит по ней. Одновременно с этим задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 скользит по задней кромке 15 отводящего клина 8. Силовое поджатие задней стенки 11 паза штыревого управляющего органа 6 к задней кромке 15 отводящего клина 8 осуществляется пружиной 7. При дальнейшем опускании устройства задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 попадает в вырез 16 отводящего клина 8. Штыревой управляющий орган 6 под воздействием пружины 7 перемещается, перекрывая своим концом с наклонной плоскостью 13 вертикальный паз 2. Задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 при этом упирается в заднюю кромку 17 отводящего клина 8, ограничивая этим перемещение штыревого управляющего органа 6.

При дальнейшем опускании устройства верхняя кромка паза 2 упирается в зацеп 18 и устройство останавливается. Поднимают устройство. Отводящий клин 8 своим зацепом 18 в первый момент под действием своего веса или под воздействием пружины остаётся на месте в контакте с объектом 3, однако затем задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 упирается в вырез 16 отводящего клина 8 и обеспечивает этим подъём отводящего клина 8 вместе со всеми остальными элементами устройства.

Оставшийся на месте объект 3 упирается в наклонную поверхность 13 штыревого управляющего органа 6, скользит по ней и перемещает штыревой управляющий орган 6, сжимая пружину 7 и освобождая вырез 16 отводящего клина 8 от контакта с задней стенкой 11 штыревого управляющего органа 6. Отводящий клин 8 под действием своего веса или под действием пружины опускается. Его задняя кромка 15 вступает в контакт с задней стенкой штыревого управляющего органа 6, а наклонная плоскость 9 штыревого захватного органа 4, наоборот, выходит из контакта с задней кромкой 15 отводящего клина 8 и вступает в контакт с его наклонной плоскостью 14. Под действием пружины 5 штыревой захватный орган 4 перемещается, перекрывая паз 3. Устройство вернулось в исходное состояние вышло из контакта с объектом 3 и готово к следующей операции.

Рассмотренная конструктивная схема характеризуется существенными недостатками – сложностью формы элементов, значительным количеством деталей, наличием пружин и необходимостью их настройки.

Представленное на рисунке 2 новое техническое решение позволяет упростить конструкцию и повысить вследствие этого надёжность операции захвата объекта.

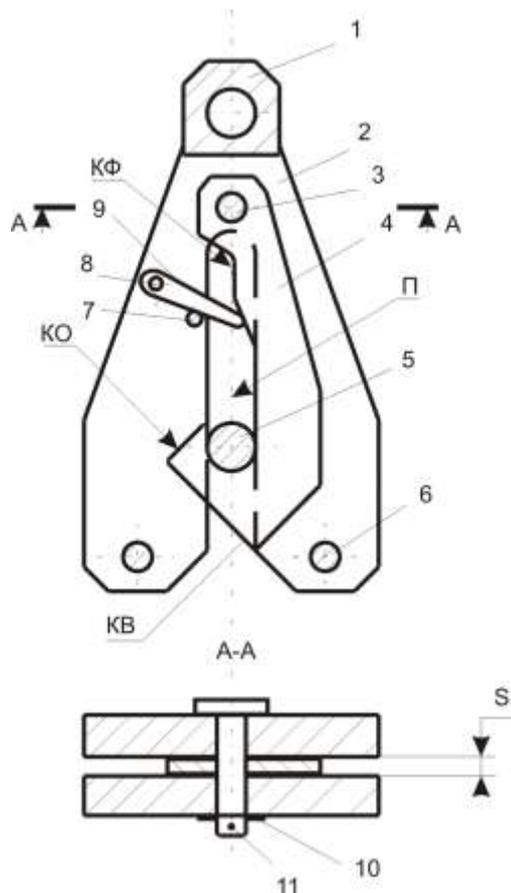


Рис. 2 Подвесное крюковое автоматическое грузозахватное устройство.

Устройство состоит из следующих элементов. Серьга 1 является элементом канатного подъема и является соединительным звеном для двух боковых пластин 2, являющихся корпусной базой всего устройства.

Ось несущая 3 является опорой для крюка фасонного 4, взаимодействующего с объектом 5 – горизонтальным или слабонаклонным прутком, трубой или кругом в поперечном сечении.

Две вставки 6 совместно с серьгой 1 служат базовыми элементами, к которым присоединены две боковые пластины 2 для образования паза шириной S , обеспечивающего свободный поворот крюка фасонного 4 относительно оси несущей 2, как показано в сечении А-А. Ось несущая 3 фиксируется шайбой 10 и шплинтом 11. В боковых пластинах 2 вырезан вертикальный направляющий паз П, в котором свободно перемещается объект 5.

Опора 7 и ось упора 8 зафиксированы шайбами и шплинтами. Опора 7 служит ограничением угла поворота вниз упора 9, фиксирующего крюк фасонный 4 в положении, позволяющим освободить объект после его перемещения.

Крюк фасонный 4 имеет две плоскости контакта для взаимодействия с объектом 5: KB – плоскость контакта для обеспечения входа объекта 5 в паз П при опускании устройства и КО – плоскость контакта для создания условий для освобождения объекта 5 при поднятии устройства. После входа объекта в паз П и возврата крюка в исходное положение объект оказывается в геометрически замкнутом пространстве.

Устройство работает следующим образом.

При опускании устройства объект 5 взаимодействует с плоскостью контакта KB на крюке фасонном 4, поворачивает его против часовой стрелки, и входит в направляющий паз П пластины 2 выше захватной кромки крюка 4, после чего крюк возвращается в исходное положение, осуществляя подхват объекта.

Чтобы освободить объект 5, устройство нужно опустить вниз по вертикали до контакта объекта 5 с упором 9 на плоскости КФ; при дальнейшем опускании устройства объект 5

поднимает упор 9, конечный элемент которого, взаимодействуя с плоскостью КФ, поворачивает крюк фасонный 4 против часовой стрелки в положение, при котором упор 9 фиксирует крюк 4.

При поднятии устройства крюк фасонный 4 остаётся в зафиксированном положении. Плоскость контакта КО крюка фасонного при этом оказывается в пазу направляющем П. Дальнейший подъём устройства приводит к контакту объекта 5 с плоскостью КО крюка фасонного 3, при этом крюк поворачивается против часовой стрелки, освобождая путь объекту 5. Упор 9 под действием силы тяжести поворачивается по часовой стрелке до контакта с опорой 7. После освобождения объекта крюк фасонный 3 под действием момента сил тяжести относительно оси несущей 3 возвращается в исходное положение.

Рассмотренные выше конструктивные схемы АГЗУ предназначены для захвата объектов вышеуказанной формы, перемещения и установки его на требуемую технологическую позицию, причём за время этих операций объект не зафиксирован, и может перемещаться в устройстве по вертикали.

Обеспечение условий надёжного захвата и зажима объекта в устройстве является основным требованием безопасного ведения работ в чрезвычайных ситуациях и при работе по безлюдной технологии, особенно при работе с радиоактивными объектами.

Поиск новых конструктивных схем производим с помощью Приложения 2 [1]. Из 12 разделов фонда эвристических преобразований объекта находим прямые подсказки:

2.2. Один элемент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах...

2.3. Присоединить к объекту новый элемент в виде жёстко или шарнирно соединенной пластины (стержня, оболочки или трубы) ...

3.1. Изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве...

3.2. Использовать и «пустое пространство» между элементами объекта. Один элемент проходит сквозь полость в другом элементе.

3.8. Осуществить сопряжение по нескольким поверхностям.

5.2. Заменить поступательное (прямолинейное) или возвратно-поступательное движение вращательным. Инверсия приёма.

10.1. Использовать массу объекта (элемента) или периодически возникающие усилия для получения дополнительного эффекта.

11.7. Использовать эмпатию: мысленно превратить себя в объект (элемент), с помощью своих ощущений найти наиболее целесообразное решение.

12.1. Упростить форму и конструкцию детали путём сокращения числа обрабатываемых поверхностей...

Указанный перечень приёмов был предварительно обсуждён авторами и распечатан на отдельных листах. Каждый из авторов предложил свои варианты решения как устно, так и с помощью эскизов – набросков конструктивной схемы. Происходил своего рода «мозговой штурм» при обсуждении, естественно, с запретом критики вариантов. Вероятно, каждый из авторов предлагаемых вариантов решений применял в процессе проектирования собственные приёмы поиска рационального варианта решения, а вышеуказанный перечень только напоминал о необходимости поиска именно в указанных направлениях и способствовал приближению к принятию окончательного варианта конструктивной схемы.

Предложенные ниже две конструктивные схемы с фиксированием объекта в АГЗУ являются результатом согласования всех предложенных вариантов.

Предлагаемый первый вариант технического решения позволяет осуществить захват и зажим объекта, и перемещение его в зажатом состоянии с использованием подвешенного автоматического захватно-зажимного ловителя (ПАЗЗЛ), представленного на рисунке 3.

Устройство состоит из следующих элементов.

Скоба 1 является местом подсоединения ПАЗЗЛ к подъёмному устройству и соединяется со стержнем подъёмным 2 посредством резьбового соединения с мелким шагом.

Стержень подъемный 2 воспринимает основную нагрузку при работе устройства и состоит из резьбовой части и цилиндрической части, причём на цилиндрической части имеется отверстие для размещения в нём конечного элемента опорного конца рычага. Между резьбовой и цилиндрической частями имеются опорный буртик для базирования снизу цилиндрической пружины 5 сжатия.

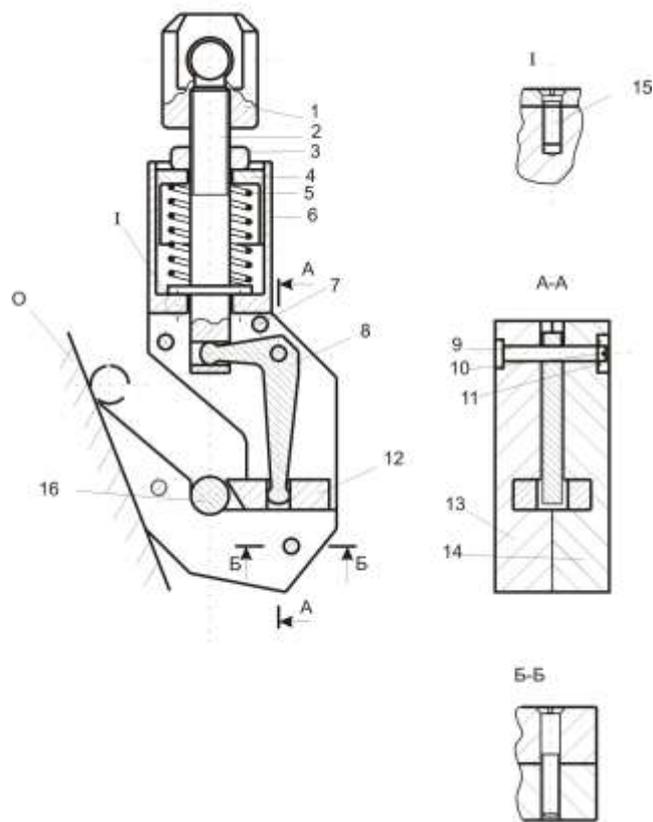


Рис. 3. Подвесной автоматический захватно – зажимной ловитель.

Гайка 3 перемещается по стержню подъёмному, взаимодействуя с гильзой опорной 4, основание которой является верхней базой для цилиндрической пружины 5.

Гильза опорная 4 выполняется в виде цилиндрического тонкостенного стального стакана с отверстием для свободного перемещения её относительно стержня подъёмного 2 и перемещения по ходовой посадке относительно гильзы направляющей 6 при регулировании усилия сжатия пружины 5 посредством вращения гайки 3. Гильза направляющая 6 прикрепляется неподвижно к корпусам левому 13 и правому 14 посредством винтов 15, как показано на выносном элементе I.

Корпуса левый 13 и правый 14 соединяется неподвижно с помощью винтов стяжных 7, как показано в сечении Б-Б.

Корпуса выполнены в виде плоских многогранных деталей, как показано на основном виде и в сечении А-А, с плоской прорезью, в которой размещается фигурный рычаг 8, смонтированный по ходовой посадке на цилиндрической оси 9, зафиксированной в корпусах 13 и 14 шайбой 11 и шплинтом 10.

Фигурный рычаг 8 взаимодействует со стержнем подъёмным 2 и с упором 12 посредством контакта своих конечных элементов со стенками отверстий в стержне подъёмном 2 и упоре 12.

Упор 12 выполнен в форме параллелепипеда со скошенной гранью, взаимодействующей с объектом 16 и отверстием для размещения в ней конечного элемента

рычага 8 и перемещается по ходовой посадке в отверстии прямоугольного сечения, образованного при соединении корпусов левого 13 и правого 14.

Захват объекта 16 происходит при наклонном положении устройства. На рисунке 3 основание О показано условно в наклонном положении, а объект перед захватом показан пунктиром. В этом случае при захвате объекта необходимо ПАЗЛ перемещать посредством скобы 1 подъемного устройства влево и вверх. Усилие сжатия пружины 5 регулируется таким образом, чтобы в начале процесса захвата объект 16 свободно вошел в нижнее положение в зоне действия упора 12, как представлено на рисунке 3.

Устройство работает следующим образом. Подвешенный на скобе ПАЗЛ опускается по вертикали до соприкосновения с горизонтальным или наклонным основанием О. Под действием момента, возникающего от сил тяжести устройства относительно точки контакта устройства с основанием захватная часть устройства подводится к объекту, показанному пунктирной линией. При перемещении устройства влево и вверх объект 16 попадает в нижнее положение, в зону действия упора 12.

При подъеме устройства вместе с объектом и увеличении сопротивления его перемещению пружина 6 сжимается под действием опорного буртика стержня подъемного 2 и гильзы опорной 4. Стержень опорный 2 перемещается вверх относительно гильзы направляющей 6 и корпусов 13 и 14, при этом конечный элемент рычага 8, размещенный в отверстии стержня подъемного 2, поворачивает рычаг 8 относительно оси 9 по часовой стрелке.

Другой конечный элемент рычага 8 взаимодействует со стенкой отверстия упора 12, перемещает последний влево, до контакта с объектом 16, причем усилие зажатия объекта будет тем больше, чем больше сопротивление перемещению объекта. Устройство вместе с зажатым объектом перемещается на требуемую технологическую позицию.

Освобождение объекта может быть произведено после его установки на требуемую позицию, при этом пружина 5 возвращает стержень подъемный 2 в исходное положение; рычаг 8 поворачивается в направлении часовой стрелки и отодвигает упор 12 вправо, освобождая объект.

В предложенной конструктивной схеме усилие зажима объекта передается через пружину, двуплечий рычаг и ползун-упор. Схема оказалась конструктивно проще представленной на рисунке 2, однако теперь обеспечивается одновременно захват и зажим объекта. Устройство оказалось конструктивно более простым. Следующей задачей является уменьшение количества элементов, обеспечивающих захват и зажим объекта.

Используя указанные выше приемы, рассмотрим схему, обеспечивающую условия зажима объекта одним элементом - фигурным фиксатором.

На рисунке 4 представлен общий вид описываемого устройства – подвесного автоматического захвата-ловителя (ПАЗЛ), сечение А-А, сечение Б-Б.

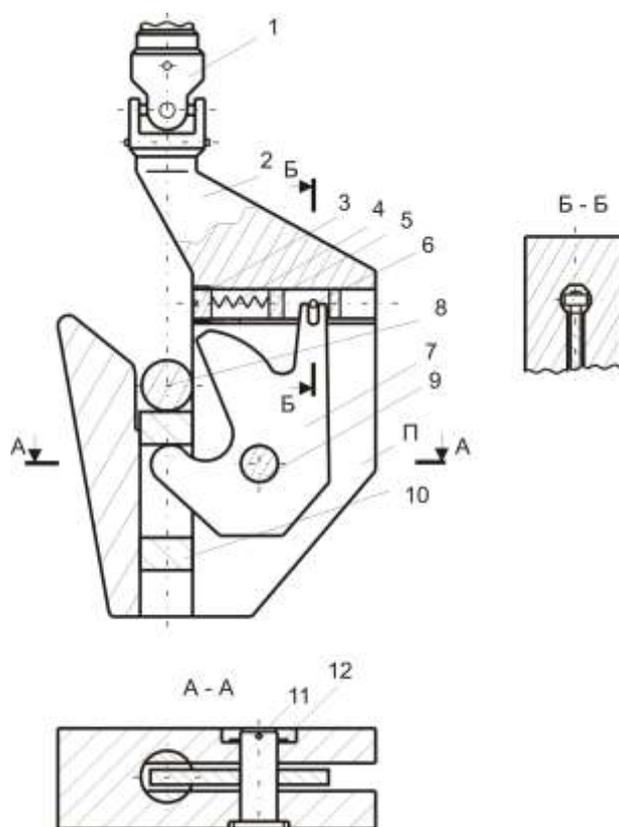


Рис. 4. Подвесной автоматический захват-ловитель.

Шарнирная муфта 1 предназначена для обеспечения возможности отклонения оси ПАЗЛ от вертикального положения при проведении операции подвода устройства под объект при ограничении свободного пространства.

Корпус 2 захвата-ловителя является основной базовой деталью с прорезью П, в которой расположен фигурный фиксатор 7 с возможностью его поворота по посадке скольжения относительно оси 9.

В корпусе 2 расположен опорный стержень 10, который может свободно перемещаться по вертикали в цилиндрическом отверстии корпуса 2. В прорезь стержня 10 входит со свободным зазором кулачковый профиль фиксатора 7 для взаимодействия при передаче усилия от объекта 8 на стержень 10, далее на фиксатор 7, который при повороте относительно оси 9 против часовой стрелки зажимным выступом фиксирует объект 8.

В сечении А-А на рисунке 5 показано положение фиксатора на оси 9, установленной в корпусе 2 с помощью шплинта 11 и шайбы 12. Винт 3 предназначен для поджима и регулирования пружины 4, поддерживающей ползун 5, в прорези которого установлена ось 6, которую охватывает по ходовой посадке вилочная прорезь фиксатора 7, как показано на рисунке 4 и в сечении Б-Б.

Пружина 4 передает только незначительное усилие управляющего воздействия в паре «ось 6 – вилочная прорезь фиксатора 7». Фиксатор 7 выполнен так, чтобы центр его масс совпадал с осью отверстия; таким образом момент сопротивления повороту фиксатора является минимальным. В функцию пружины 4 входит обеспечение условий возврата фиксатора 7 в исходное положение после снятия нагрузки с объекта 8 на стержень опорный 10, который может быть выполненным как в форме цилиндра, так и в форме четырехгранной призмы, если необходимо обеспечить большее усилие зажима объекта; в таком случае толщина фиксатора 7 должна быть больше, что обеспечит большую величину длины контактной линии объекта и фиксатора при зажиме.

Устройство работает следующим образом. Объект 8 под воздействием силы его тяжести или силы сопротивления среды его перемещению надавливает на стержень опорный

10. Верхняя внутренняя плоскость прорези стержня опорного 10 передает усилие на кулачковый профиль фиксатора 7, поворачивая последний относительно оси 9 против часовой стрелки, при этом зажимный выступ фиксатора 7 входит в контакт с поверхностью объекта 8 и прижимает последний к верхней поверхности стержня опорного 10 и к боковой или нижней опорным поверхностям входной полости ПАЗЛ.

При снятии нагрузки с объекта 8 на стержень опорный 10 пружина 4, действуя на ползун 5, сдвигает его вправо. Ось 6 ползуна 5, действуя на вилочную прорезь фиксатора 7, возвращает последний в исходное положение.

Главной особенностью ПАЗЛ является повышение усилия зажатия объекта при возрастании усилия сопротивления его перемещению, повышая надежность операции захвата, зажима и удержания объекта, что крайне важно при работе по безлюдной технологии в условиях демонтажа радиоактивного оборудования или при подводных и спасательных операциях.

Авторы не претендуют на универсальность представленной методики, т.к. процесс создания изобретений формализовать невозможно в принципе. Однако представленная в данной работе частная методика изобретательского поиска приводит к плодотворным результатам, рассмотренные конструктивные схемы обладают существенной новизной. Кроме того, коллективное обсуждение предложенных вариантов существенно уменьшает время для принятия окончательного решения, т.к. после обсуждения вариантов «без критики» наступает решающий момент, где все варианты обсуждаются только с критическими замечаниями. Усовершенствование указанных схем, их упрощение и поиск новых продолжается именно по рассмотренной методике.

Список литературы:

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.

2. Конструкторские решения при проектировании транспортно-технологического оборудования в атомном машиностроении: монография / П.Д. Кравченко [и др.]; Волгодонский институт сервиса (филиал) ЮРГУЭС. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – 186с.

3. Пат. 2268229 Российская Федерация С1 МПК7 В66С 1/66. Автоматизированное грузозахватное устройство / Кравченко П.Д., Березин И.В., Березин Е.В., Шестакова И.А.; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. - № 2004114612/02; заявл. 13.15.2004; опубл. 20.01.2006. – Бюл. №01. – ил.

А. В. Бродский к.т.н., С. Н. Падалко д.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Россия, г. Москва
brodski1954@gmail.com, snp@inmas.ru

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛА

Статья посвящена актуальным вопросам разработки гибридных интеллектуальных для управления летательным аппаратом. Приводится общая структура и принципы данного построения.

Ключевые слова: Гибридная интеллектуальная система, вычислительная модель, виртуальное вычислительное оборудование.

Повышение эффективности функционирования ЛА в значительной степени связано с развитием возможностей бортовых вычислительных комплексов (БВК), в том числе, за счет их интеллектуализации. В связи с этим интеллектуальные системы (ИС) рассматриваются в настоящее время как обязательные компоненты БВК ЛА.

Рассматриваемая в данной статье ИС предполагает ее комплексное использование как для обеспечения работы экипажа в штатных и нештатных ситуациях, так и как компоненты системы автоматического управления ЛА.

Здесь предполагается, что рассматриваемая ИС предназначена, в первую очередь, для предоставления членам экипажа квалифицированных рекомендаций в процесс их деятельности. Причем эти рекомендации должны формироваться ИС как по запросу экипажа, так и по инициативе самой системы, если действия экипажа требуют корректировки. В случаях, когда действия экипажа или ошибочные команды системы управления могут привести к недопустимым последствиям, предполагается, что система их блокирует. В ряде заранее оговоренных случаев ИС должна брать выполнение той или иной части функций экипажа на себя; так же как и в случаях, когда передача функций производится экипажем. При функционировании в режиме взаимодействия с экипажем сформированные ИС рекомендации должны аргументироваться, в том числе с привлечением количественных оценок. Такого рода разъяснительная информация, как правило, необходима для осмысления экипажем полученных рекомендаций и принятия решения: следовать этим рекомендациям или нет.

Функционирование ИС в указанных режимах основывается на упреждающем моделировании функционирования ЛА и его систем различного назначения, исходя из информации об их текущем состоянии, а также директивной информации, описывающей поставленные перед ЛА задания и выполняемые им маневры. Такое моделирование не может основываться только на характерных для традиционных ИС продукционных (логико-лингвистических) моделях, дающих рецептуру поведения в штатных ситуациях и ограничивающих получение прогноза количественных параметров и характеристик функционирования ЛА и его систем. В свою очередь, упреждающее использование этих моделей часто требует результатов численного моделирования.

Однако, дополнение логико-лингвистических моделей конечным набором вычислительных моделей не решает проблему. Это связано с тем, что ситуации, требующие моделирования в полете, в полном объеме практически непредсказуемы и, следовательно, невозможно заготовить весь набор моделей, соответствующих этим ситуациям.

Таким образом, традиционные ИС, использующие в качестве базы знаний логико-лингвистические модели, ограничивают возможности БВК ЛА и требуют развития, обеспечивающего проведение, наряду с логическим, численного моделирования на основе гибко и оперативно синтезируемых вычислительных моделей.

Рассматриваемая ИС учитывает данное требование и является гибридной интеллектуальной системой (ГИС). Она базируется на использовании не только логико-лингвистических моделей, что характерно для традиционных ИС, но и вычислительных моделей и соответствующих им методов численного анализа. Такое комплексное использование различных видов представления знаний позволяет, наряду с получением «рецептурной» информации, формируемой на базе логико-лингвистических моделей, моделировать в количественных измерениях штатные и нештатные ситуации, а также оперативно планировать и проводить вычислительные эксперименты для прогнозирования последствий принятия тех или иных решений членами экипажа в различных ситуациях, синтезировать оптимальную стратегию и тактику выполнения как полученного задания в целом, так и отдельных маневров.

В соответствии со сказанным предлагается формировать ГИС как программно-информационный комплекс, функционирующий в условиях:

1) разнородности внешней информации, включающей:

- информацию от членов экипажа;
- директивные данные, описывающие условия выполнения полета и/или отдельных маневров;
- информацию о текущем состоянии ЛА и его систем.

При этом тот или иной режим функционирования ГИС определяет дозировку и статус названных видов информации для алгоритмов системы;

2) разнородности внутренней информации – базы знаний ГИС, включающей:

- логико-лингвистические модели из двух групп предметных областей: относящихся к ЛА и его системам; относящихся к применимости различных отношений вычислительных моделей, методов и методик;

- вычислительные модели в виде автономно представленных отношений с описанием случаев их применения;

- наборы методов и методик решения различного рода задач на моделях;

- базы данных как наборы фактографической информации, включающей, в первую очередь, описания параметров и характеристик ЛА и его систем;

3) готовности решения заранее не предопределенного множества задач, инициируемых либо членами экипажа, либо системой управления ЛА и его системами, либо самой ГИС.

Выполнение названных условий порождает такие требования к ГИС как открытость и гибкость. Открытость при этом трактуется как возможность расширения как внутренней, так и внешней информации, воспринимаемой ГИС, а гибкость – как возможность решения каждой задачи, для которой достаточно доступной системе информации. Здесь же заметим, что в случае нехватки информации ГИС формирует запросы на ее получение к соответствующему источнику (экипажу, САУ, измерительным системам) или сама организует порождение требуемой информации путем проведения вычислительных экспериментов (т.е. порождает задание сама себе).

В основе функционирования ГИС лежит принцип формального обобщения всех поступающих запросов, в результате чего выделяются три этапа функционирования системы при формировании ответов на эти запросы:

- анализ запроса и трансформация его в унифицированную формальную форму;

- решение задачи обработки формального запроса;

- интерпретация результатов решения формальной задачи в соответствии с исходным запросом.

Унифицированная формальная форма запроса представляет собой кортеж следующего вида:

$$Z = \langle x, y, z, D_x, D_y, D_z, P \rangle,$$

где x – набор структурированных элементов (НСЭ), значения которых фиксированы;

y – НСЭ, значения которых ограничены;

z – НСЭ, определение значений которых является целью запроса;

D_x – значения, фиксирующие x ;

D_z, D_y – множества допустимых значений z и y , соответственно;

P – описание условий, которым должен отвечать результат запроса (в частности, критериальные показатели).

Элементы представленного кортежа могут быть различной природы: числовыми, функциональными, лингвистическими – что и определяет систему как гибридную. Соответственно, операции над этими элементами могут быть как вычислительными, так и основанными на логическом исчислении.

Предлагаемая унифицированная форма запроса позволяет обобщить и свести к этой форме любой практический запрос. Ее структура, в то же время, содержит исчерпывающую информацию для алгоритмов ГИС. Здесь же, как атрибуты НСЭ, присутствуют характеристики НСЭ как математических объектов, а также ряд другой служебной информации. Назначение этих атрибутов производится системой по имеющемуся в ее системе тезаурусу, связанному с каналами поступления исходной информации.

Процесс обработки запроса включает в себя следующие процедуры.

1. Анализ запроса с точки зрения возможности его выполнения на имеющейся базе знаний.

База знаний ГИС представляет собой совокупность структурированной информации. В качестве опорной единицы используется формальное понятие переменной. Переменная понимается в широком смысле и может означать любое понятие, которым описывается полет, функционирование различных систем ЛА и самого аппарата в целом. В дальнейшем для краткости будем говорить о переменных, описывающих объект, и считать, он полностью определяется некоторым конечным набором переменных.

Для того чтобы некоторая переменная v могла отражать сущность объекта, припишем ей следующие атрибуты:

1. $A(v)$ – смысл переменной. Это понятие будем рассматривать как неформализуемое, но индивидуальное для каждой переменной. В программной реализации соответствующий атрибут может быть строкой символов, например, $A(v) = \text{“коэффициент топлива”}$;

2. $D(v)$ – множество значений, которые в принципе может принимать переменная, если ее рассматривать изолированно (т.е. без связи с другими переменными);

3. v – некоторое значение переменной, приписываемое ей в каждом конкретном случае.

Ограничимся следующими тремя случаями относительно $D(v)$:

$D(v) = \{d_1, \dots, d_2\}$ – конечное множество явно перечисленных объектов, внутренняя структура которых не рассматривается;

$D(v) = \mathbb{R}$ – множество вещественных чисел;

$D(v) = P_n = \{d | d \in \mathbb{R}^n\}$ – множество всех подмножеств из \mathbb{R}^n .

Будем отождествлять конкретный объект с набором значений переменных $V = \{v_i | v_i \in V_m\}$, где V_m – множество переменных модели. Таким образом, если $V_1 \neq V_2$, то V_1 и V_2 соответствуют, вообще говоря, различным объектам. Если отождествить V со структурой объекта, то можно говорить, что рассматриваемая модель является моделью семейства объектов, имеющих одинаковую структуру. Конечно, такая трактовка модели должна пониматься в широком смысле. Пусть, например, w – переменная, определяющая состояние объекта. Тогда если V_1 и V_2 отличаются только значениями переменной w , то V_1 и V_2 определяют один и тот же объект, но находящийся в различных состояниях.

Для систематизации опорной информации, представленной множеством переменных, введем формальное понятие отношения, отражающее некоторое свойство рассматриваемого объекта. Так как среди всех объектов, входящих в семейство, могут быть как те, которые

обладают данным свойством, так и те, которые им не обладают, то отношение можно отождествить с подсемейством тех объектов, которые обладают данным свойством. Этим постулируется тот факт, что в рамках введенной модели любое свойство объекта может быть выражено в терминах переменных. Тогда некоторое отношение может формально включать в себя такие наборы значений переменных V , которые соответствуют тем и только тем объектам, которые обладают данным свойством.

При рассмотрении конкретного свойства почти всегда оно формулируется в терминах не всех, а только некоторых переменных. Более строго, если существует такая переменная w , что для любого $w \in D(w)$ найдется $V \in r$, т.е. данным свойством обладают объекты со всевозможными w , то переменную w можно считать несущественной для отношения r . Пусть $V(r) \in V$ – множество переменных, существенных для отношения r (это множество можно считать структурной характеристикой отношения). Тогда r вполне определяется как $r \in \Pi D(v)$. С другой стороны, если рассмотреть кортеж значений существенных переменных $r_i = \{v | v \in V(r_i)\}$, то отношение r можно так же определить как совокупность различных кортежей, т.е. $r = \cup r_i$. Такую форму определения отношения будем называть табличной, в отличие от теоретико-множественной формы, приведенной выше. Очевидно, что обе определения охватывают один и тот же класс.

Резюмирую сказанное, базу знаний будем представлять в виде тройки:

$\langle V, D, R \rangle$,

где V – множество элементов, называемых переменными;

D – множество значений переменных;

R – множество элементов, называемых отношениями, с каждым из которых связано определенное свойство.

С учетом сказанного, анализ запроса ведется по ряду признаков, основной из которых связан с наличием замкнутых формальных систем на отношениях базы знаний при содержащихся в запросе исходных данных [1]. Возможны три варианта: отсутствие и наличие таких систем, а также наличие несовместных систем. Каждый из этих случаев имеет различную интерпретацию в зависимости от характера исходного запроса.

Частными вариантами таких интерпретаций могут быть сигналы о

- возможности оптимизации действий экипажа;

- ошибке в действиях экипажа;

- необходимости изменения режима полета для успешного выполнения задания и т.п.

Отметим, что выдача такого рода сигналов сопровождается конкретными рекомендациями членам экипажа или командами для САУ при функционировании ГИС в режиме поддержки автоматического управления (компоненты САУ).

2) Планирование использования компонент базы знаний для ответа на запрос.

Данная процедура состоит из трех этапов. На первом этапе по имеющемуся в составе ГИС классификатору определяется, к какому формальному классу задач сводится текущий запрос. На втором этапе формируется план (методика) решения этой задачи, а на третьем – рассматривается возможность декомпозиции задачи на совокупность подзадач. Причем, принципиально возможно проводить декомпозицию, исходя из двух посылок: с точки зрения уменьшения трудоемкости получения конечного ответа на запрос, а также исходя из конкретной конфигурации технических средств БВК, в частности, возможностей распараллеливания процессов и наличия специализированных вычислителей.

Здесь одним из основных принципов построения ГИС является возможность рекуррентного порождения новых отношений на базе имеющихся. Такое конструирование может быть регулярным лишь при условии представления как исходных, так и результирующих отношений в некоторых унифицированных (базовых) формах. В качестве таких форм предлагаются следующие:

I-я форма соответствует представлению отношений, заданных с помощью вычислительных правил, где соответствующее правило имеет вид программного модуля (ПМ) на одном из языков программирования. В рамках предлагаемого подхода ПМ

рассматривается как «черный ящик» $\langle X, Y, P \rangle$, где X – совокупность входных параметров модуля, Y – совокупность выходных параметров модуля, а P – вычислительное правило, ставящее в соответствие конкретные значения параметров из Y заданным значениям параметров из X . Описательный аспект ПМ достигается за счет того, что параметрам ПМ ставятся в соответствие некоторые переменные математической модели.

2-я форма соответствует представлению отношений в виде совокупности кортежей связанных переменных (табличное представление). Если такое отношение должно рассматриваться как непрерывное, то это может быть достигнуто с помощью подключения подходящего интерполяционного метода на этапе построения математической модели (считается, что ГИС обеспечивает эту функцию). Результат соединения табличного отношения с интерполяционным методом даст I -ю форму отношения, при этом ПМ формируется ГИС.

3-я форма соответствует представлению отношения в виде аналитической формулы, в которой могут использоваться отношения, определенные ранее в любой из трех форм. Поскольку вся необходимая описательная информация может быть получена из аналитической формы чисто синтаксическим путем, то наличие какого-либо дополнительного описания не требуется.

3) Подготовка информации для вычислителя(ей) БВК и формирование для него(них) заданий в соответствии со сформированным планом получения ответа на запрос.

Данный этап в значительной степени зависит от конфигурации технических средств БВК и их базового программного обеспечения.

После этого этапа ГИС передает управление названным средствам, оставляя за собой, в случае необходимости, синхронизацию процессов решения подзадач в соответствии со сформированным планом. В частности, если выявляется потребность в дополнительной информации, ГИС формирует запросы соответствующим источникам информации, в том числе, как уже говорилось, самой себе, порождая вспомогательные запросы и процессы их разрешения.

Построение разрабатываемой ГИС основывается на представлении этой системы как четырехуровневого виртуального вычислительного оборудования (ВВО) [2]. Верхний уровень этого ВВО составляют компоненты базы знаний, имеющие специальную организацию и ряд унифицированных форм их представления, а также соответствующие средства управления. Следующий - третий слой включает средства анализа запросов и планирования процессов формирования ответов на них. Ко второму слою относятся средства, обеспечивающие взаимосвязь между средствами двух названных уровней с конкретным вариантом реализации технических средств БВК и их базового программного обеспечения. Здесь же находятся средства, обеспечивающие подготовку информации для вычислителей БВК и формирование им заданий в соответствии с планом получения ответа на запрос. На нижнем уровне находится базовое программное обеспечение технических средств БВК.

Такая организация ГИС БВК для управления ЛА обладает значительной степенью инвариантности к областям применения. Особенно это относится к управляющей части системы (составляющей 2-й уровень), где сосредоточены ее основные интеллектуальные возможности. Это обстоятельство делает возможным использование результатов разработки в широком спектре прикладных областей, связанных с управлением непрерывными процессами, в частности, при управлении химическими производствами, в металлургии и т.п., а так же служить основой для создания механизмов предупреждения аварийных ситуаций и жизнеобеспечения, которым в настоящее время уделяется особо серьезное внимание при проектировании современных наземных и космических транспортных систем [3].

И, наконец, программное обеспечение ГИС для БВК, в силу развитости в нем средств для проведения моделирования и проведения вычислительных экспериментов, а также за счет мобильности и инвариантности к предметной области, может служить основой для

создания стандартного программного обеспечения рабочих станций на базе ЭВМ, ориентированных на проведение научных исследований.

Список литературы:

1. *Смирнов О.Л., Падалко С.Н., Пиявский С.А.* САПР: формирование и функционирование проектных модулей; М.: Машиностроение; 1987г.

2. *Бродский А.В., Падалко С.Н.* Технология решения вычислительных задач в САПР ЛА; Учебное пособие; Издательство МАИ; 1989г.

Бродский А.В., Новиков Д.Б., Падалко С.Н., Строгонова Л.Б. Общая схема автоматизированного медицинского контроля в СППР жизнеобеспечения длительных космических полетов; Вестник МАИ, т. 17, № 2; 2010г.; стр. 44-52

В. И. Воронов к.т.н., В. В. Михайлов к.т.н., С. И. Рощина к.т.н.

Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Россия, г. Владимир
rsi3@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ МНОГОПУСТОТНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ СТЕНДОВОГО БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ

В статье изложены результаты натурных испытаний многопустотных железобетонных плит стендового безопалубочного формования, армированных канатами К-7, с последующей разрезкой ленты на отдельные плиты требуемой длины. Полученные результаты проанализированы, где обращено внимание на опасный с точки зрения надежности характер разрушения испытанных плит.

Ключевые слова: железобетонные плиты, испытания, несущая способность, разрушение, прогибы, напряжение, арматура, трещины, характер и случай разрушения.

В современном гражданском строительстве значительное применение нашли многопустотные железобетонные плиты стендового безопалубочного формования с последующей разрезкой ленты на отдельные плиты требуемой длины. В связи началом производства этих плит в цехе ООО «ГРАД» проведено их заводское испытание до разрушения в соответствии с ГОСТ 8829-94, как это было предусмотрено п.3.7 «Технические требования» рабочих чертежей серии ИЖ 509-05. Было испытано три плиты перекрытия марки **ПБ 60-12-8**, изготовленные на одном и том же стенде по одной и той же технологии. Ленты, из которых брались плиты для испытаний, изготавливались 19, 23 и 27 декабря 2009 года. Испытание железобетонных плит перекрытий проводилось 23...28 января 2010 года в цехе, где изготавливались плиты при температуре +10...+12⁰С.

Плиты проектировались из бетона класса В40 с напрягаемой арматурой в нижней и верхней зоне. Нижняя зона армирована канатами класса К-7 диаметром 12мм (4шт), а в верхней зоне устанавливалось 4Ø4ВрII. Основные данные по испытанным плитам приведены в табл.1.

Таблица 1

Номера плит	Кубиковая прочность бетона <i>МПа</i>	Площадь сечения арматуры		μ , %	Временное сопротивление при разрыве $\sigma_{вр}$, <i>МПа</i>	Предел текучести σ_{02} , <i>МПа</i>	$\sigma_{02}/\sigma_{вр}$
		A_{sp2} <i>мм²</i>	A'_{sp2} <i>мм²</i>				
1.	41,2	362,4	50,2	0,19	1870	1765	0,944
2.	48,0	362,4	50,2	0,19	1870	1765	0,944
3.	44,6	362,4	50,2	0,19	1870	1765	0,944

Испытания проводились по схеме шарнирно опертой балки с расчетным пролетом 5,9м. Загружение осуществлялось ступенями в 10 этапов, в соответствии с ГОСТ 8829-94. Для создания равномерно распределенной нагрузки в качестве загрузочного средства применялся силикатный модульный кирпич весом 50,2...50,7Н. Контрольные нагрузки по рабочим чертежам без учета собственного веса составляли:

- 12,8 кН/м² при первом случае разрушения (от текучести арматуры);
- 16,1кН/м² при втором случае разрушения (от раздробления бетона);
- 6,7 кН/м² при оценке жесткости с контрольным значением прогиба 0,6см.

Из данных табл.1 обращает на себя внимание близкое значение σ_{02} и $\sigma_{вр}$, а также невысокий процент содержания арматуры в сечении плит. При испытаниях плит замерялись осадка опор, прогиб середины плит и ширина раскрытия трещин. Для этого использовали прогибомеры ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм в количестве 6 штук и микроскоп МПБ -2 с ценой деления 0,05мм. Кроме того, на двух канатах были установлены два индикатора часового типа с ценой деления 0,001мм.

Прогиб испытанных плит при контрольной нагрузке 6,70 кН/м² для оценки жесткости составил 4,6...5,2мм, что меньше 6,0мм по рабочим чертежам. Трещин в плитах не образовывалось, что подтверждается линейным графиком прогибов. Таким образом, второе предельное состояние испытанных плит отвечает требованиям рабочих чертежей и ГОСТ 8829-94.

Все испытанные плиты доводились до разрушения. Фрагмент загрузки плит за этап до разрушения приведен на рис.1.



Рис.1. Фрагмент загрузки плит.

Разрушение всех испытанных плит произошло по одной и той же схеме по нормальному сечению при напряжениях достигающих условного предела текучести арматуры. Величина разрушающей нагрузки составила 11,3...11,5 кН/м² без учета собственного веса при контрольной величине разрушающей нагрузки по нормальным сечениям 12,8 кН/м². Несущая способность каждой из плит не соответствует требованиям рабочих чертежей. Разрушение всех плит происходило внезапно с образованием одной нормальной трещины в середине пролета при прогибе 8,2...9,3мм. Ширина раскрытия трещин при опускании плит на страховочные опоры достигала 2,66мм, а величина прогиба 26...35мм.

Разрушение характеризовалось интенсивным нарастанием прогибов, которые в 7...10 раз превышали прогибы на предыдущем этапе, и конструкция садилась на страховочные опоры. При этом смещение концов двух канатов, где стояли индикаторы, составило 0,004мм. График изменения прогибов испытанных плит представлены на рис. 2.

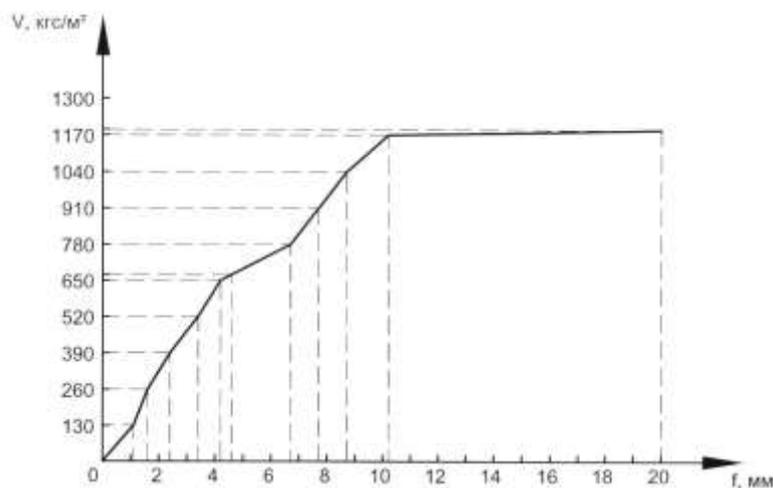


Рис. 2. График изменения прогиба испытанных плит.

Основные данные по результатам испытания плит приведены в табл.2.

Таблица 2

№ плит	Контрольная нагрузка по жесткости кН/м ²	Прогиб, f_n , мм	f_n/l	Разрушающая нагрузка при испытании, кН/м ² $q_{разр}$	Разрушающая нагрузка по проекту, кН/м ² $q^{np}_{разр}$	Расчетная нагрузка, кН/м ² q	Коэффициент $C=q/q_{разр}$	Прогиб перед разрушением, мм	$a_{срс}$ при разрушении, мм
1.	6,7	5,2	1/1130	11,3	12,8	8,0	1,292	8,6	2,46
2.	6,7	5,8	1/1010	11,5	12,8	8,0	1,310	9	2,60
3.	6,7	4,6	1/1280	11,5	12,8	8,0	1,310	8,2	2,66

Характер разрушения был внезапным с образованием единственной трещины и резким нарастанием прогиба. Такой тип разрушения изгибаемого предварительно напряженного элемента является опасным, поскольку разрушение происходит без явных признаков в виде системы нормальных трещин и заметных визуально прогибов. На это обстоятельство обращал еще внимание проф. Дмитриев С. А. в работе [1], где отмечалось: «При малопластичной растянутой арматуре для изгибаемых элементов предварительное напряжение опасно».

При практически мгновенном образовании одной трещины в растянутом бетоне появляются продольные колебания в арматурном стержне, что объясняется приложением усилия в виде импульса, которое воспринималось бетоном. Возникают кратковременные колебания. Наибольшее ударно прилагаемое напряжение появляется в момент разрыва растянутого бетона. Данный эффект аналогичен процессу появления продольных волн при ударе по металлическому стержню [3].

В момент образования одной трещины, что имело место в трех испытанных плитах все усилие, ранее воспринимавшееся бетоном, мгновенно передавалось на арматуру. По мнению автора работы [2] в арматуре возникают продольные колебания вокруг точки статического равновесия после мгновенного образования трещины. Динамическое усилие в арматуре может быть определено по работе [2]

$$H_s^d = H_s + 2H_b,$$

где H_s и H_b – соответственно усилия в арматуре и бетоне перед образованием трещины, равные

$$H_s = (\sigma_{sp} + 2\alpha R_{bn})A_{sp}; \quad H_b = R_{bt,n}(h_0 - x)b.$$

Выполненные по работе [2] расчеты сведены в табл. 3.

Таблица 3

№ плит	Кубиковая прочность бетона МПа	Усилие H_{b1} кН	Усилие $H_{s1}^{дин}$ кН	Напряжение $\sigma_{sp1}^{дин}$ МПа	$\frac{\sigma_{sp1}^{дин}}{\sigma_{02}}$	Усилие $H_{s2}^{дин}$ кН	Напряжения $\sigma_{sp2}^{дин}$ МПа.	$\frac{\sigma_{sp2}^{дин}}{\sigma_{02}}$
					—			—
1,2,3	44,6	123,3	561,1	1550,1	0,88	654,8	1809,1	1,025

Приведенное в табл.3 усилие H_{b1} определено в предположении упругой работы растянутого бетона с учетом динамического упрочнения $\gamma_{дин} = 1,2$; усилие $H_{s2}^{дин}$ вычислено с учетом криволинейной эпюры напряжений в растянутом бетоне ($H_{b2} = 154,125$ кН). Из данных табл. 3 следует, что в момент образования трещины напряжение в арматуре близки к σ_{02} , что подтверждает и резкое нарастание прогиба (рис. 3). Опасный с позиции надежности тип разрушения плит с напрягаемой высокопрочной арматурой К-7 вызвал у нас настороженность и обусловлен на наш взгляд следующими причинами:

- высоким уровнем предварительного напряжения в арматуре $\sigma_{sp} = 1100$ МПа;
- динамическим скачком напряжений в напрягаемой арматуре при образовании одной трещины в середине пролета и весьма вероятно, что при этом снижается или нарушается сцепление арматуры с бетоном;
- невысоким процентом армирования 0,19% против рекомендованных ранее оптимальных значений для плит 0,3%.

Полученные результаты испытаний плит нуждаются в дальнейшем осмыслении и уточнении, но не обратит на них внимание, мы посчитали неправильным делом, так как не обеспечивается требование рабочих чертежей по разрушающей нагрузке при проверке прочности.

Список литературы:

1. Дмитриев С. А. Влияние предварительного напряжения на прочность и жесткость железобетонных конструкций. В кн. Исследования по теории железобетона. Вып.17. М., Госстройиздат, НИИЖБ, 1960,с.5...15.
2. Ключева Н. В. Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. Приспособляемость железобетонных конструкций. ГОУВПО Орловский гос. техн. ун-т., 2009, с.20.
3. Кошкин Н. И., Шеркевич М. Г. Справочник по элементарной физике.

С. С. Голубев

Московский Государственный Строительный Университет
 Институт фундаментального образования
 Кафедра информатики и прикладной математики
 Россия, г. Москва
 csgol@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

Рассмотрен элементный подход при определении приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Описана последовательность расчета приведенного сопротивления теплопередаче на примере трехслойной железобетонной панели типа МН-7 111М строительной системы.

Ключевые слова: приведенное сопротивление теплопередаче, коэффициент теплотехнической однородности, плоские элементы, линейные элементы, точечные элементы.

Повышение теплотехнических свойств наружных стеновых панелей продиктовано постановлением Правительства Москвы 536-ПП от 09.06.2009 и №900ПП от 5-10-2010 «О повышении энергетической эффективности жилых, социальных и общественно-деловых зданий в городе Москве и внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 9-06-2009 №536-ПП».

Рассмотрим элементный подход при определении приведенного сопротивления теплопередаче жилого панельного дома [1-3]. В качестве фрагментов ограждающей конструкции здания выделим панель типового этажа, на примере глухой трехслойной железобетонной панели типа МН-7 111М строительной системы. В каждом фрагменте (панели) выделим три типа элементов по размерности их проекций: плоские, линейные и точечные [1-3]. Плоские элементы, суммарной площадью $\sum A_i^{(2)}$, - это участки однородной удельной плотности теплового потока, - «гладь ограждающей конструкции». Теплотехнические характеристики плоских элементов можно оценить из простых аналитических выражений. Линейные элементы, суммарной площадью $\sum A_j^{(1)}$, - стыки панелей, оконные и дверные откосы и т.д.- элементы, у которых один размер существенно меньше другого и мал по сравнению с размерами рассматриваемого элемента ограждающей конструкции. Линейные элементы могут моделироваться в декартовых координатах в виде двухмерных задач. Точечные элементы, суммарной площадью $\sum A_k^{(0)}$ - металлические связи панелей, шпонки, дюбели и т.д.- элементы, у которых размеры их проекций на поверхность ограждения малы по сравнению с площадью рассматриваемого фрагмента. Точечные элементы должны моделироваться в декартовых координатах в трехмерном виде, или двухмерном, - в цилиндрических координатах. Таким образом, общая площадь панели, - фрагмента ограждающей конструкции $A = \sum A_i^{(2)} + \sum A_j^{(1)} + \sum A_k^{(0)}$. Выделив три типа элементов, запишем формулы для вычисления приведенного сопротивления теплопередаче панели R_0^{np} ($m^2 \cdot ^\circ C / Bm$)

$$R_0^{np} = \frac{(t_{int} - t_{ext})}{\frac{\int q dA}{A}} = \frac{(t_{int} - t_{ext})}{\sum \frac{A_i^{(2)}}{A} q_i^{ycl} + \sum \frac{A_j^{(1)}}{A} q_j^{2D} + \sum \frac{A_k^{(0)}}{A} q_k^{3D}} = \left[\frac{1}{R_0^{ycl}} + \sum \frac{A_j^{(1)}}{A} \frac{\Delta q_j^{(1)}}{(t_{int} - t_{ext})} + \sum \frac{A_k^{(0)}}{A} \frac{\Delta q_k^{(0)}}{(t_{int} - t_{ext})} \right]^{-1} \quad (1)$$

где $\int q dA / A = q^{np}$ - приведенная удельная плотность теплового потока, Bm / m^2 ;

t_{int}, t_{ext} - расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}C$;
 $\Delta q_j^{2D} = (q_j^{2D} - q^{ycl})$ - величина дополнительных удельных тепловых потерь через линейную теплотехническую неоднородность j -вида, Bm / m^2 ; $\Delta q_k^{3D} = (q_k^{3D} - q^{ycl})$ - величины дополнительных удельных тепловых потерь через точечную теплотехническую неоднородность k -вида, Bm / m^2 .

Условный удельный тепловой поток $q^{ycl} (Bm / m^2)$, вычисляется из соотношения: $q^{ycl} = (t_{int} - t_{ext}) / R_0^{ycl}$. Сопротивление теплопередаче панели по «глади» $R_0^{ycl} (m^2 \cdot ^{\circ}C) / Bm$, - условное сопротивление теплопередачи, может быть вычислено, как уже отмечалось, аналитически:

$$R_0^{ycl} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (2)$$

Удельный тепловой поток $q_j^{2D} (Bm / m^2)$ определяется путем двухмерного компьютерного моделирования тепловых процессов для заданной конструкции. Удельный тепловой поток $q_j^{3D} (Bm / m^2)$ определяется путем трехмерного компьютерного моделирования тепловых процессов для заданной конструкции.

Введем величину $\psi_j (Bm / m^{\circ}C)$, - удельных потерь теплоты через j -ю линейную неоднородность: $\psi_j = h_j (q_j^{2D} - q^{ycl}) / (t_{int} - t_{ext})$; и величину $\chi_k (Bm / m^{\circ}C)$, - удельных потерь теплоты через k -ю точечную неоднородность: $\chi_k = A_k^{(0)} (q_k^{3D} - q^{ycl}) / (t_{int} - t_{ext})$. Площадь линейного j -элемента $A_j^{(1)} = L_j \cdot h_j$, где L_j - его протяженность; h_j - ширина. Тогда приведенное сопротивление теплопередаче панели $R_0^{np} (m^2 \cdot ^{\circ}C) / Bm$, записанное в виде выражения (1), удобно представить в виде:

$$R_0^{np} = A \cdot \left[\frac{A}{R_0^{ycl}} + \sum L_j \psi_j + \sum \chi_k \right]^{-1} \quad (3)$$

Коэффициент теплотехнической однородности панели $r = q^{ycl} / q^{np} = R_0^{np} / R_0^{ycl}$.

Теплотехнические двухмерные и трехмерные расчеты выполнены путем решения стационарной задачи теплопроводности в рамках конечно-элементного программного комплекса ANSYS. Граничные условия 3-го рода выбирались в виде конвективного теплообмена в узлах: на внутренней поверхности стены с коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{int} = 8,7 Bm / (m^2 \cdot ^{\circ}C)$ и температурой внутри помещения $t_{int} = 20^{\circ}C$, на внешней поверхности стены $\alpha_{ext} = 23 Bm / (m^2 \cdot ^{\circ}C)$ и температурой окружающей среды $t_{ext} = -28^{\circ}C$.

В качестве конечных элементов использовались четырехугольные плоские квадратичные PLANE77 элементы. Различным элементам конструкции присваивались соответствующие им теплотехнические характеристики материалов. Значения коэффициентов теплопроводностей материалов ограждающих конструкций выбирались, согласно СП 23-101-2004: для утеплителя, пенополистирол типа «Неопор»,

$\lambda = 0,037 \text{ Bm}/(\text{m}^*0 \text{ C})$; железобетон $\lambda_B = 2,04 \text{ Bm}/(\text{m}^*0 \text{ C})$; металлические связи $\lambda_B = 58 \text{ Bm}/(\text{m}^*0 \text{ C})$; утеплитель типа вилатерм $\lambda_B = 0,06 \text{ Bm}/(\text{m}^*0 \text{ C})$; раствор цементно-песчаный $\lambda_B = 0,93 \text{ Bm}/(\text{m}^*0 \text{ C})$. Толщины трехслойной железобетонной панели: наружного бетонного слоя 80мм, утеплителя 150мм, внутреннего бетонного слоя 170мм.

Рассматриваемая стеновая панель типа МН-7 имеет два вертикальных стыка с обозначениями «узел 1-2» и «узел 1-4» и два горизонтальных стыка с обозначением «сечение Б-Б».

Результаты расчетов распределений температурных полей изображены на рисунках 1-3. Полученные распределения удельных плотностей тепловых потоков по внешней стороне конструкции, использованы для получения величины приведенной удельной плотности теплового потока $\int_A q dA / A = q^{np}$. Интегрирование проводилось в пределах размеров каждого узла и сечения. Так, приведенный удельный тепловой поток, полученный путем трехмерного компьютерного моделирования тепловых процессов в области металлической связи равен $q_1^{3D} = 13,1 \text{ Bm}/\text{m}^2$; величина удельных теплопотерь через точечную теплотехническую неоднородность, обусловленную металлической связью, - $\chi_1 = 0,018 \text{ Bm}/0 \text{ C}$; радиус влияния одной связи, - $r_{ce} = 0,25 \text{ м}$. В рассматриваемой панели расположено 12 металлических связей, суммарная площадь влияния всех металлических связей равна $\sum A_k^{(0)} = 12 \cdot \pi \cdot r_{ce}^2 = 12 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 = 2,83 \text{ м}^2$.

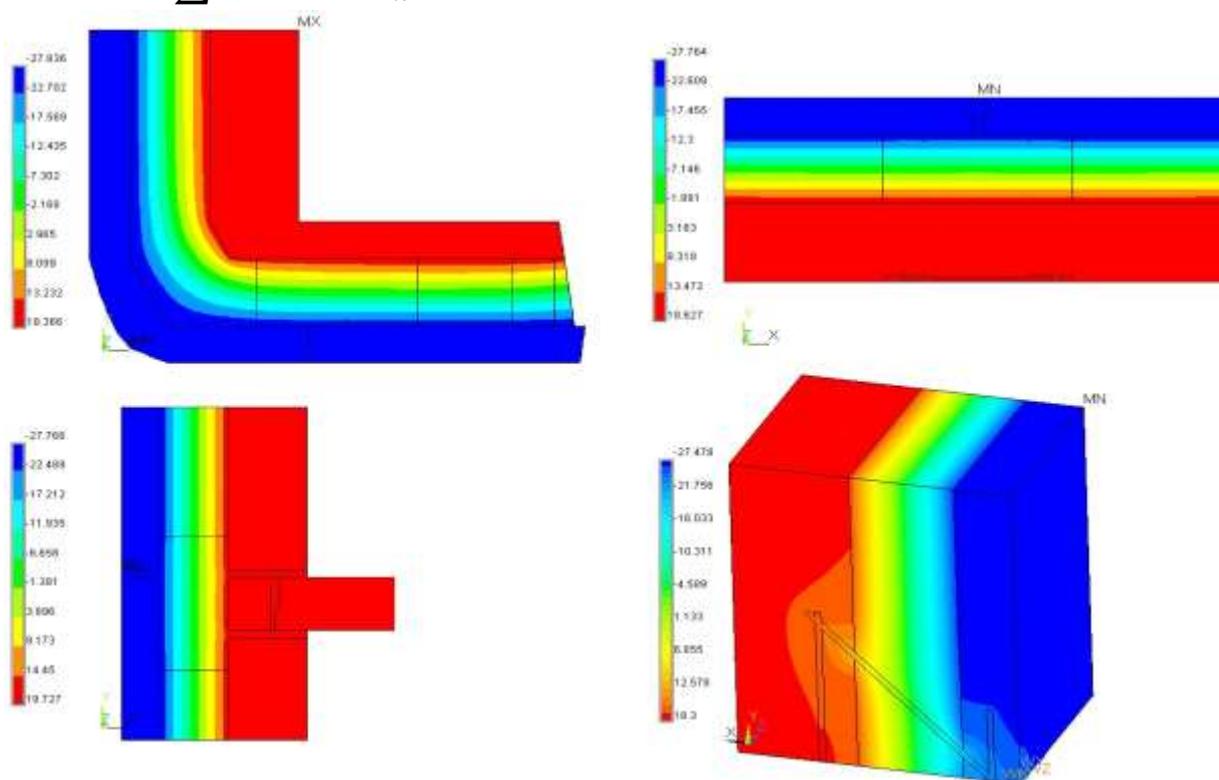


Рисунок 1 - Результаты моделирования распределения температурных полей в двумерных моделях узла 1-4 (вверху слева), узла 1-2 (вверху справа), сечения Б-Б (внизу слева) и трехмерной модели области металлической связи (внизу справа) трехслойной железобетонной панели.

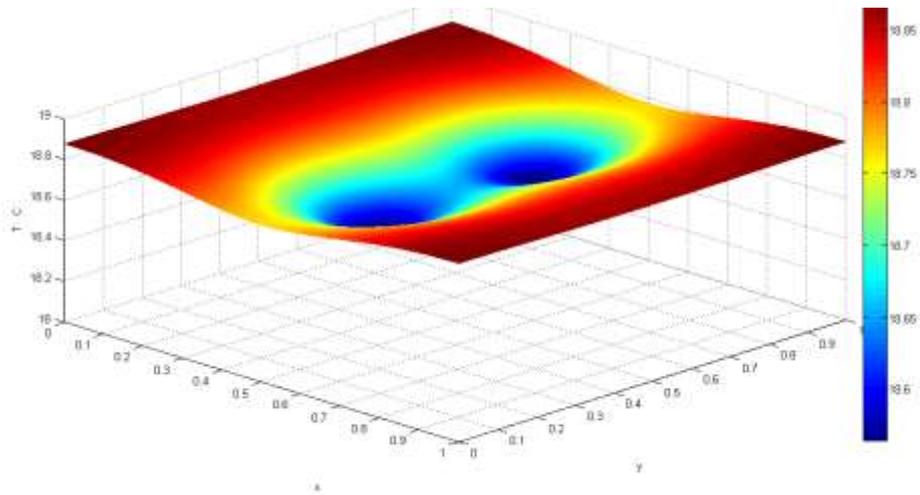


Рисунок 2 – Распределение температуры на внутренней поверхности панели в области металлической связи.

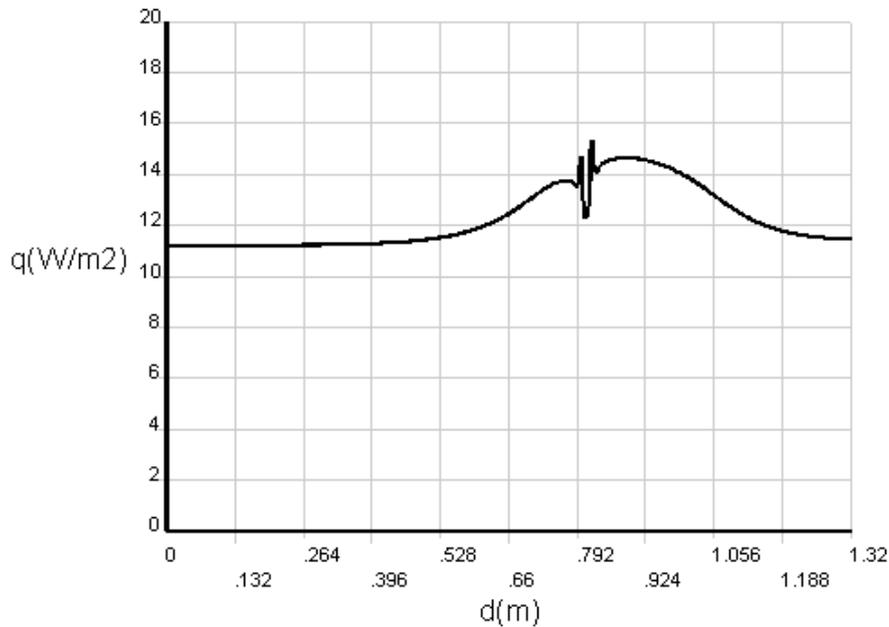


Рисунок 3 - Распределение удельных плотностей теплового потока $q(Bm / m^2)$ на внешней поверхности сечения Б-Б.

Сопротивление теплопередаче панели по «глади» согласно выражению (3): $R_0^{ysl} = 4,34(m^2 \cdot ^\circ C / Bm)$. Условный удельный тепловой поток $q^{ysl} = 11,1Bm / m^2$.

Площадь панелей типа МН-7 равна $A = 3,25 \cdot 2,8 = 9,1m^2$. Результаты двухмерных расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Результаты двухмерных расчетов для панелей типа МН-7

№	Элементы конструкции, обладающие линейными теплотехническими неоднородностями	$L_j \cdot h_j = A_j, m^2$	$q_j^{2D} (Bm / m^2)$	$\psi_j (Bm / m \cdot ^\circ C)$
1	Узел 1-4	$2,8 \cdot 0,4 = 1,12$	17,7	0,055
2	Узел 1-2	$2,8 \cdot 0,4 = 1,12$	12,4	0,011
3	Сечение Б-Б	$2,45 \cdot 0,8 = 1,96$	12,6	0,026

Приведенное сопротивление теплопередач панелей типа МН-7 определяется из выражения (3), - $R_0^{np} = 3,63(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$. Коэффициент теплотехнической однородности равен $r = R_0^{np} / R_0^{ysl} = 3,63 / 4,34 = 0,84$. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций типового этажа вычисляется из соотношения:

$$R_0^{np} = \sum A_i / \sum A_i / R_i$$

Таким образом, для определения удельных тепловых потерь трехслойной стеновой панели типа Н-7 были проведены расчеты температурных полей трех двумерных моделей узлов 1-2, 1-4 и сечения Б-Б и одной трехмерной модели области металлической связи.

Рассмотренный подход определения приведенного сопротивления теплопередаче позволяет определить вклад элементов каждого типа в потери тепла через ограждающие конструкции здания, выявить наиболее слабые в теплотехническом отношении элементы ограждающих конструкций и принять меры по их утеплению. Расчет удельных тепловых потерь через плоские, линейные и точечные типовые элементы является достаточно прозрачным, позволяет определять приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий со сложной геометрической формой и высокой теплотехнической неоднородностью.

Список литературы:

1. Гагарин В.Г. Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, Строительные материалы, 12, 2010
2. ISO/FDIS 10211:2007 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations
3. prEN ISO 14683:2005 Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values

В. Д. Горбачев, И. Е. Кузнецов к.г.н.

Военный авиационный инженерный университет
Россия, г. Воронеж
vaiumet@mail.ru

МЕТОДИКА ПРОСТРАНСТВЕННО–ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ПОЛЕЙ МЕТЕОВЕЛИЧИН В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТЕОИНФОРМАЦИИ

В работе предлагается методика пространственно-временного анализа полей метеорологических величин, основанная на модели фильтрации и экстраполяции Калмана и реализованная на примере восстановления поля метеорологической дальности видимости.

Ключевые слова: методика, радиолокационные измерения, метеорологическая дальность видимости, осадки, ошибки.

Сведения о пространственно-временном распределении метеорологических величин являются важными в силу значительного влияния данной информации на результаты функционирования метеозависимых отраслей народного хозяйства. В настоящее время эта информация получается на основе данных стационарных, спутниковых и радиолокационных наблюдательных систем. Каждая в отдельности, эти системы не в полном объеме удовлетворяют современным требованиям метеорологического обеспечения в силу своих особенностей [1]. Попытки совместного использования спутниковых, радиолокационных и стационарных наблюдений за полями метеоэлементов, связанных с облачностью и осадками, получили практическую реализацию в Национальной службе погоды США (программа NEXRAD), в Великобритании (системы FRONTIERS, NIMROD, GANDOLF), в Швеции (система PROMIS 600, MESAN) [1]. Процедура восстановления полей метеоэлементов, используемая в этих программно-аппаратных комплексах, основана на достаточно большом объеме данных и высокой плотности наземных наблюдательных станций. Это делает системы ненадежными и дорогостоящими, а при отсутствии возможности увеличения наземных измерительных пунктов – неэффективными. Поэтому необходимо разрабатывать методы, переносящие акцент с технической оснащенности систем на усложнение вычислительной процедуры. Таким образом, целью работы явилось повышение эффективности пространственно-временного анализа полей метеовеличин путем разработки методики, комплексно использующей информацию, получаемую от радиолокационных наблюдательных сетей и наземных наблюдательных станций с учетом их ограниченного количества и ошибок измерений.

Постановка задачи. Задачу будем решать на примере восстановления поля видимости в два этапа. На первом этапе необходимо провести моделирование процесса получения информации о пространственно-временном распределении видимости с использованием статистических характеристик видимости, а также моделей радиолокационного измерения видимости и модели аппроксимации данных наземных измерений. На втором этапе необходимо построить алгоритм коррекции поля радиолокационных измерений видимости по данным наземных наблюдений.

Радиолокационное определение видимости в интересующем потребителя районе осуществляется с использованием формулы $VID = a \cdot Z^b$, где a и b – постоянные коэффициенты для данной формы облачности и рассматриваемого физико-географического района; Z – радиолокационная отражаемость осадков [2]. Аппроксимацию поля видимости на площади S проведем по данным наземных наблюдений с использованием функционала

$$f(x, y) = ax^2 + by^2 + cx + dy + e, \quad (1)$$

где x и y – координаты точки пространства, в которой определяется видимость. Во избежании больших погрешностей при согласовании выбранной математической модели $f(x, y)$ с реальностью, целесообразно, чтобы область S принадлежала одной сплошной или очаговой зоне с осадками. При наличии над метеополлигоном нескольких зон с осадками и возможностью выделения внутри этих зон прямоугольных областей, функция $f(x, y)$ определяется для каждой из этих областей.

Коррекцию осуществим на основе модели фильтрации и экстраполяции Калмана [3]. Для этого, процедуру определения искомой метеовеличины $S(t, r)$ представим в виде уравнения состояния и наблюдения

$$S(t, r-1) = K(t, r) \cdot S(t, r-1) + \xi(r); \quad (2)$$

$$N(t, r) = B(t, r-1) \cdot S(t, r) + \mu(r). \quad (3)$$

Модель состояния вектора $S(t, r)$ (2) учитывает его трансформацию коэффициентом $K(t, r)$ и флуктуацию параметром $\xi(r)$. Модель наблюдения (3) содержит математические соотношения, связывающие наблюдаемый сигнал $N(t, r)$ с детерминированным полезным сигналом $S(t, r)$ и аддитивной случайной ошибкой измерения $\mu(r)$. Функция $B(t, r-1)$ в модели (3) показывает, каким образом вектор $S(t, r)$ преобразуется в измеренную величину $N(t, r)$.

Методика пространственно–временного анализа поля видимости в осадках. Уравнения (2), (3) можно свести к двум, соответствующим случаю измерения видимости по радиолокационным данным на площади

$$DAT_{\odot}(t, r) = \beta(t, r) \cdot DAT(t, r-1) + \frac{\sigma_F^2(t, r)}{\sigma_{IB}^2(t, r)} [DAT_{ИЗМ}(t, r) - \beta(t, r) \cdot DAT(t, r-1)]; \quad (4)$$

$$\sigma_F^2(t, r) = \frac{\sigma_{IB}^2(t, r) \cdot [\beta^2(t, r) \cdot \sigma_F^2(t, r-1) + \sigma_M^2(t, r)]}{\sigma_{IB}^2(t, r) + \beta^2(t, r) \cdot \sigma_F^2(t, r-1) + \sigma_M^2(t, r)}. \quad (5)$$

Анализ формул (4), (5) показывает, что оптимальная оценка метеопараметра $DAT_{\odot}(t, r)$ в любой точке пространства формируется как сумма оценки экстраполяции $\beta(t, r) \cdot DAT(t, r-1)$ и корректирующей поправки к ней. Дисперсия σ_F^2 формируемой оценки $DAT_{\odot}(t, r)$ является составной частью оценки и учитывает ошибку прошлого шага, технические характеристики станции σ_{IB}^2 , меру флуктуации измеряемой величины $\sigma_M^2(t, r)$. При этом, точность определения $DAT_{\odot}(t, r)$ зависит от множителя $\beta(t, r)$ и дисперсии поля определяемого метеоэлемента $\sigma_M^2(t, r)$. Эти две характеристики обусловлены случайными изменениями макро- и микрофизических характеристик осадков в момент времени t , между ближайшими узлами регулярной сетки пространства. Данные величины зависят от типа облака, стадии его развития, интенсивности протекающих в нем процессов и т. д. и могут быть получены при статистической обработке результатов экспериментальных наблюдений за развитием слоисто-дождевой и кучево-дождевой облачности.

Таким образом, решение поставленной проблемы пространственно-временного анализа поля метеоэлементов, связанных с облачностью и осадками, включает в себя одношаговое пространственное предсказание, результаты которого корректируются в соответствии с текущей радиолокационной и аэросиноптической информацией.

Практическая реализация предлагаемого метода. Пусть в центре метеополлигона расположен автоматизированный радиолокационный комплекс, с помощью которого проводятся измерения видимости. На данном полигоне в узлах регулярной сетки случайным образом распределены N наземных измерителей видимости. Согласно представленной выше методики, для получения оптимальной оценки видимости и величины ошибки необходимо на каждом шаге оценивания иметь значения величин $VID(t, r)$, $\sigma_M^2(t, r)$, $\beta(t, r)$. Дисперсия

$\sigma_M^2(t, r)$ зависит от количества наземных пунктов наблюдения на начальном шаге экстраполяции и определяется из выражения

$$\sigma_M^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [VID_i - f(x, y)]^2, \quad (6)$$

где n – количество пунктов наземных наблюдений, измеряющих видимость. Поправочный множитель $\beta(t, r)$ рассчитывается по формуле

$$\beta(t, r+1) = \frac{f(x + \Delta x, y + \Delta y)}{f(x, y)}. \quad (7)$$

Таким образом, алгоритм восстановления поля видимости в осадках по данным радиолокационных и наземных наблюдений предусматривает выполнение следующих операций.

По имеющейся информации с предыдущего пространственно-временного шага о величине $VID(t, r-1)$ и априорных сведениях о $\sigma_M^2(t, r)$, $\sigma_{ИЗ}^2$, σ_{F-1}^2 , $\beta(t, r)$ определяется дисперсия оптимальной оценки σ_F^2 в данной точке зондирования. Вычисляется коэффициент

усиления $\frac{\sigma_F^2(t, r)}{\sigma_{ИЗ}^2(t, r)}$. По имеющейся с предыдущего шага оценке $VID(t, r-1)$ производится

пространственная экстраполяция видимости в осадках на ближайшую точку (узел регулярной сетки) области S_n . Определяется видимость в осадках по данным радиолокационной станции в точке зондирования $VID_{ИЗМ}(t, r)$. На основании полученных

значений $VID_{ИЗМ}(t, r)$, $VID(t, r-1)$, $\frac{\sigma_F^2(t, r)}{\sigma_{ИЗ}^2(t, r)}$ вычисляется оптимальная оценка $VID_{\ominus}(t, r)$, по

значениям которой в области S_{n+1} восстанавливается поле видимости и получается новая функция $f_{n+1}(x, y)$. По формулам (6), (7) проводится корректировка параметров $\sigma_M^2(t, r)$, $\beta(t, r)$. Затем расчеты повторяются.

Оценка эффективности предлагаемой методики проводилась по следующим критериям: стандартное отклонение полученной функции $f(x, y)$ от значений VID во всей области её определения – $\sigma(VID)$; коэффициент вариации $Cv(VID)$; средняя абсолютная $\delta_{абс}(VID)$ и относительная $\delta_{отн}(VID)$ изменчивость поля видимости внутри исследуемой области S . Данные статистики представлены в таблице 1.

Реализация методики в конкретном эксперименте, при наблюдающейся неравномерности распределения видимости на площади, показали, что погрешности в определении коэффициентов аппроксимации обусловлены неоднородностью полей осадков на ограниченной территории, точностью подбора аппроксимирующего поле видимости уравнения, а также количеством и порядком размещения наземных измерителей видимости.

Таблица 1 – Статистические характеристики точности аппроксимации

Область аппроксимации, км	Количество измерителей видимости	$\sigma(VID)$, км	$Cv(VID)$	$\delta_{abc}(VID)$, км	$\delta_{отн}(VID)$, км
10x10	4	2,11	0,63	1,72	0,53
	6	1,23	0,42	0,93	0,22
	8	0,55	0,15	0,61	0,12
20x20	4	3,12	0,63	2,71	0,56
	6	2,43	0,55	1,73	0,42
	8	1,56	0,34	1,15	0,48
30x30	4	1,81	0,72	1,57	0,62
	6	1,74	0,53	1,33	0,56
	8	1,63	0,31	1,34	0,51
50x50	6	3,01	0,73	2,51	0,52
	8	2,62	0,56	2,08	0,46
	10	2,08	0,52	1,74	0,39

Список литературы:

1. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети/ Коллективная монография ИРАМ. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002. – 332 с.
2. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 343 с.
3. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана – Бьюси: пер. с англ. / Под ред. И.Е. Казакова. – М.: Наука, 1982. – 246 с.

К. Л. Горшкова, А. Р. Садыков, Л. Ф. Фархутдинов

Альметьевский государственный нефтяной институт, факультет энергетики и автоматизации
кафедра автоматизации информационных технологий
Россия, г. Альметьевск
chri_leon@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМАМИ НА ПРИМЕРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ЁМКОСТИ

В работе представлены результаты изучения возможности применения нечёткого регулирования при создании системы регулирования уровня жидкости в ёмкости.

Ключевые слова: нечеткое регулирование, нечеткая логика, нечеткий регулятор, редактор правил, технические системы.

Применение нечёткого регулирования в области управления техническими системами позволяет получить более адекватные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления. Математической базой для нечёткого регулирования является предложенная американским профессором Лотфи Заде в 1965 г. теория нечётких множеств. [2] В отличие от теории множеств, где о каждом объекте или элементе системы можно однозначно сказать принадлежит он рассматриваемому множеству или нет, теория нечётких множеств имеет дело с элементами которые обладают свойствами, не позволяющими однозначно отнести их ни к одному из множеств (например, воду с температурой 60 градусов Цельсия одни люди отнесут к горячей, а другие к тёплой, всё зависит от субъективных оценок).

Формально нечёткое множество (А) – это множество упорядоченных пар или кортежей вида: $\langle x, \mu(x) \rangle$, где x является элементом некоторого универсального множества X , а $\mu(x)$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов X некоторое действительное число из интервала $[0,1]$. При этом значение $\mu(x) = 1$, означает, что элемент x определённно принадлежит нечёткому множеству А, а значение $\mu(x) = 0$ означает, что элемент x определённно не принадлежит нечёткому множеству А. (Например, возьмём в качестве универсального множества $X = \{1,2,3,\dots\}$ – множество натуральных чисел, тогда нечёткое множество А, представляющее «небольшое натуральное число» можно задать следующим образом:

$$A = \{ \langle 1, 1.0 \rangle, \langle 2, 1.0 \rangle, \langle 3, 0.9 \rangle, \langle 4, 0.8 \rangle, \langle 5, 0.6 \rangle, \langle 6, 0.5 \rangle, \langle 7, 0.4 \rangle, \langle 8, 0.2 \rangle, \langle 9, 0.1 \rangle \}.$$

Изначальной предпосылкой развития теории нечётких множеств являлась разработка адекватных модельных средств для создания моделей систем, где имеется неопределённость, связанная, прежде всего с неясностью или нечёткостью описания границ системы или отдельных её состояний. Таким образом, нечёткая логика делает обычную логику приближенной к человеческим рассуждениям. Нечёткая логика даёт возможность системам управления, построенным на контроллерах и работающих по заранее написанным программам, возможность рассуждать и принимать решения относительно реальных систем. При рассмотрении сложной системы люди рассуждают относительно её структуры и поведения - приблизительно или неточно. Тем самым достигается некоторое универсальное понимание и содержание проблемы. Именно в рамках теории нечётких множеств оказывается возможным включить в систему управления интуицию отдельного человека.

На данный момент лидером в области промышленного применения нечёткого управления является – Япония. В Японии запатентовано более 3000 устройств работающих в

этой области. Это связано с тем, что нечёткая логика поддерживает разработку быстрого прототипа технического устройства с последующим усложнением его функциональности. Нечёткие модели более просты для своей аппаратной реализации по сравнению с классическими алгоритмами управления техническими системами. Построение нечёткой модели основывается на формальном представлении характеристик в терминах лингвистических переменных, то есть, к лингвистическим относятся входные и выходные переменные.

Цель управления заключается в том, чтобы на основе анализа текущего состояния объекта управления определить значения управляющих переменных, реализация которых позволяет обеспечить желаемое поведение или состояние объекта управления. Применяемые в классической теории управления системы на основе ПИД – регуляторов имеют ряд недостатков, в частности, одним из недостатков является предположение о линейном характере зависимости входных и выходных переменных, что существенно снижает адекватность этой модели.

Архитектура или модель нечёткого управления основана на замене классической системы управления, системой нечёткого управления. Для создания и разработки модели нечёткого управления нами использована среда математического моделирования MATLAB и инструмент, имеющийся в ней под названием Fuzzy Logic Toolbox, который является средством разработки систем нечеткого управления. Он предназначен для описания функционирования сложных технологических систем и процессов, функционирование которых можно однозначно описать на основе совокупности данных, полученных от различных датчиков. [3]

Системы нечёткого управления создаются в редакторе систем нечёткого вывода – FIS редакторе. Лингвистические переменные создаются в редакторе функций принадлежности. А правила изменения выходных переменных в зависимости от входных задаются в редакторе правил (Rule Editor).

Описание простейшего нечеткого алгоритма

При решении практических задач широкое применение получили нечеткие логические регуляторы, которые на основании лингвистической информации полученной от оператора, могут управлять сложными, формализуемыми процессами. При создании таких регуляторов нет необходимости в создании точной математической модели, а достаточно приблизительного представления о соотношении входных и выходных переменных описывающих процесс.

Примерами практического применения является нечеткий логический регулятор процесса теплообмена, управление процессом подогрева воды и т.д. [1]

В управлении процессом подогрева воды применяется нечеткий алгоритм (Рис. 1), позволяющий управлять установкой подогрева воды, управление которой обычными способами затруднено из-за нелинейности и изменчивости процесса.

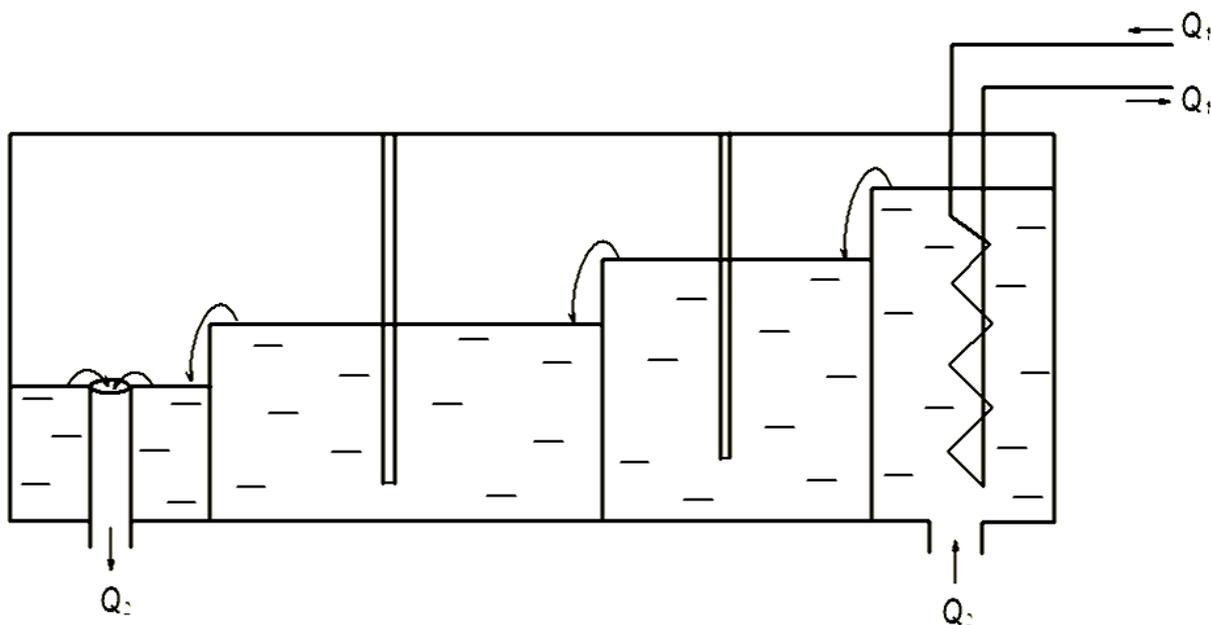


Рис. 1 - Схема процесса подогрева воды.

Задача состоит в поддержании постоянной температуры воды в одном из отсеков и сохранение постоянства переменного потока холодной воды Q_2 , посредством регулирования динамических значений переменного потока горячей воды Q_1 и Q_2 . Температура должна регулироваться таким образом, чтобы минимизировать время задержки потока воды. Поток Q_2 во время устойчивого периода должен поддерживаться постоянным и может быть изменен только во время изменения температуры. Следовательно, основной переменной будет поток горячей воды Q_1 .

Для описания функции принадлежности нечетких множеств, характеризующих нечеткие оценки значений, была выбрана функция $\mu(x) = (1 + (a(x-c))^b)^{-1}$. Изменяя параметры a , b , c можно получить хорошее приближение желаемой функции: c позволяет менять точку, в которой минимум нечеткости ($\mu=1$); a изменяет протяженность функции принадлежности (ее ширину); b позволяет менять контрастность.

Нечеткие множества, используемые в алгоритме, описывались функциями принадлежности, приведенными в таблице 1, где x обозначает отклонения температуры от фиксированного значения, dx – изменение отклонения, Q_1 – поток теплой воды, Q_2 – поток холодной воды, dQ_1 – изменение Q_1 .

Таблица 1

Название нечетких оценок значений	Обозначение	Функция принадлежности
Не малое	x	$1 - (1+0.5x)^{-1}$
Малое	x	$(1+0.5x)^{-1}$
Очень малое	x	$(1+x^4)^{-1}$
Незначительное малое	x	$(1+0.5x)^{-1}$ для $x > 1$
Немалое	x	$(1+(3(x-1))^2)^{-1}$
Среднее малое	x	$(1+(3(x-0.5))^2)^{-1}$
Чрезвычайно малое	x	$(1+(3x)^2)^{-1}$
Малое	dx	$(1+(3dx)^2)^{-1}$
Среднее	dx	$(1+(3(dx-0.5))^2)^{-1}$
Большое	dx	$(1+(dx-2)^2)^{-1}$
Очень большое	Q ₁	$(1+2(Q_1-12))^2)^{-1}$
Очень маленькое	Q ₁	$(1+2(Q_1)^2)^{-1}$
Близкое к значению в устойчивом состоянии	Q ₁	$(1+(3(Q_1-1))^2)^{-1}$
Очень близкое к значению в устойчивом состоянии	Q ₁	$(1+(3(Q_1-0.5))^2)^{-1}$
Малое	dQ ₁	$(1+(2(dQ_1-0.2))^2)^{-1}$
Среднее	dQ ₁	$(1+(2(dQ_1-1))^2)^{-1}$
Большое	dQ ₁	$(1+(dQ_1-3)^2)^{-1}$
Очень большое	Q ₂	$(1+2(Q_2-18))^2)^{-1}$
Очень маленькое	Q ₂	$(1+2(Q_2-1))^2)^{-1}$

Стратегия описывается следующим множеством правил:

Если x «не малое», то Q₁ «очень большое»

то Q₂ «очень маленькое»

Если x «малое», то Q₁ «близкое значению в устойчивом состоянии»

то Q₂ «в устойчивом состоянии»

Если x «очень малое», то Q₁ «очень близко» к значению в устойчивом состоянии

то Q₂ «в устойчивом состоянии».

В стратегии предполагается известным абсолютное значение потока Q₁, при котором имеет место устойчивое состояние установки. Следовательно, предполагается известной температура постоянного потока.

Нечеткий логический регулятор показывает лучшие результаты (колебания температуры около 0.5⁰C). Это объясняется тем, что в регуляторе использовалась информация о величине потока в устойчивом состоянии.

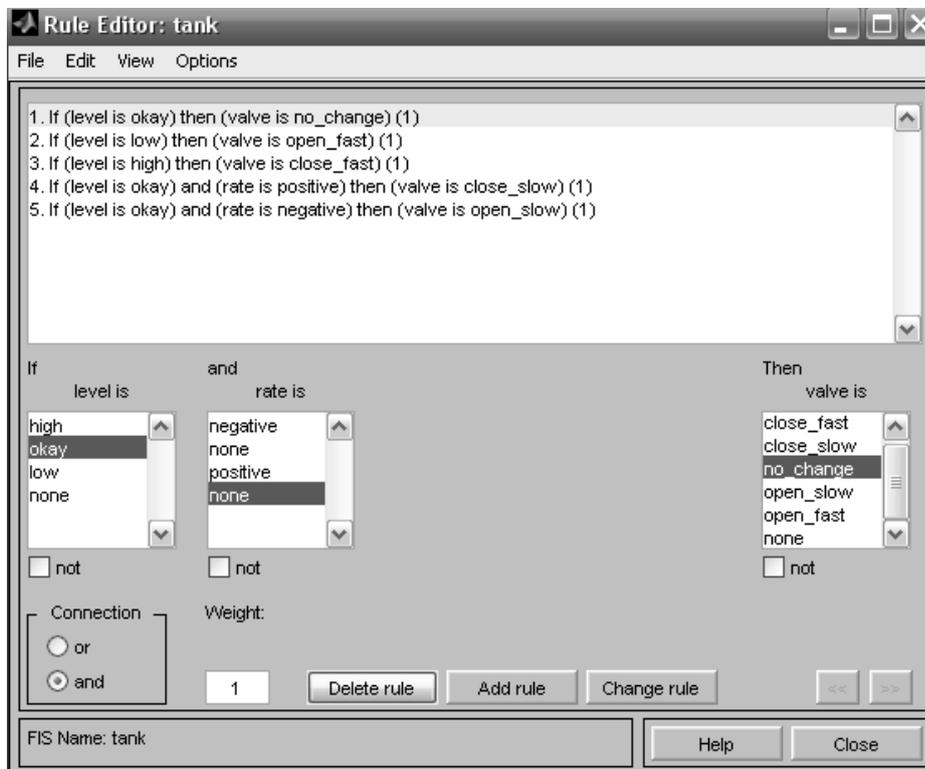
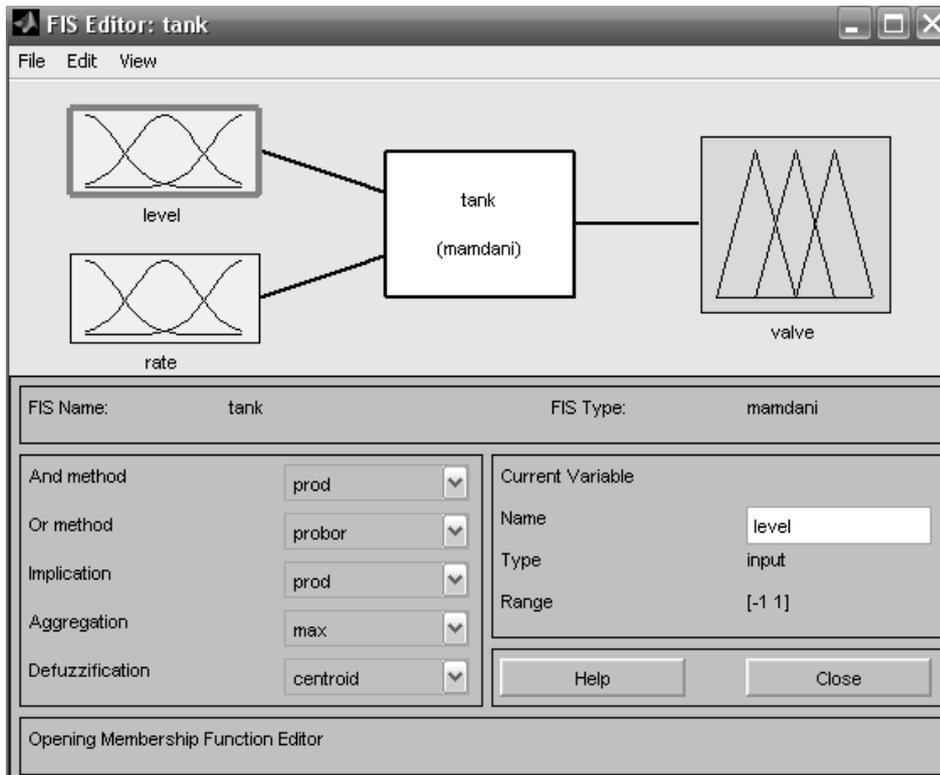
Практическое применение нечёткого регулирования на примере создания системы регулирования уровня жидкости в ёмкости.

Цель системы регулирования поддержание оптимального уровня жидкости в ёмкости, с помощью изменения дебита (valve). На вход нечёткого регулятора подаются два параметра:

- 1) скорость изменения уровня жидкости в ёмкости (level);
- 2) разность между заданным уровнем жидкости и текущим (rate).

Скорость изменения уровня жидкости в ёмкости может быть низкой (low), нормальной (normal) и высокой (high).

Разность между заданным уровнем жидкости и текущим может быть:



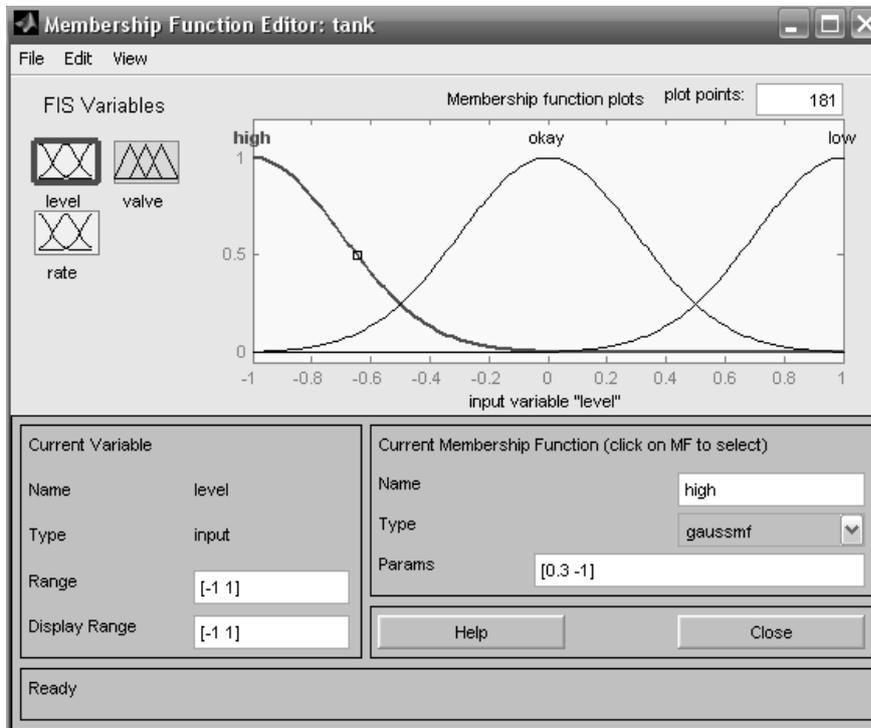


Рис. 3- Изображение программы для нечёткого регулирования созданной во FIS редакторе.

Полученная плоскость нечёткого регулирования приведена на графике 1.

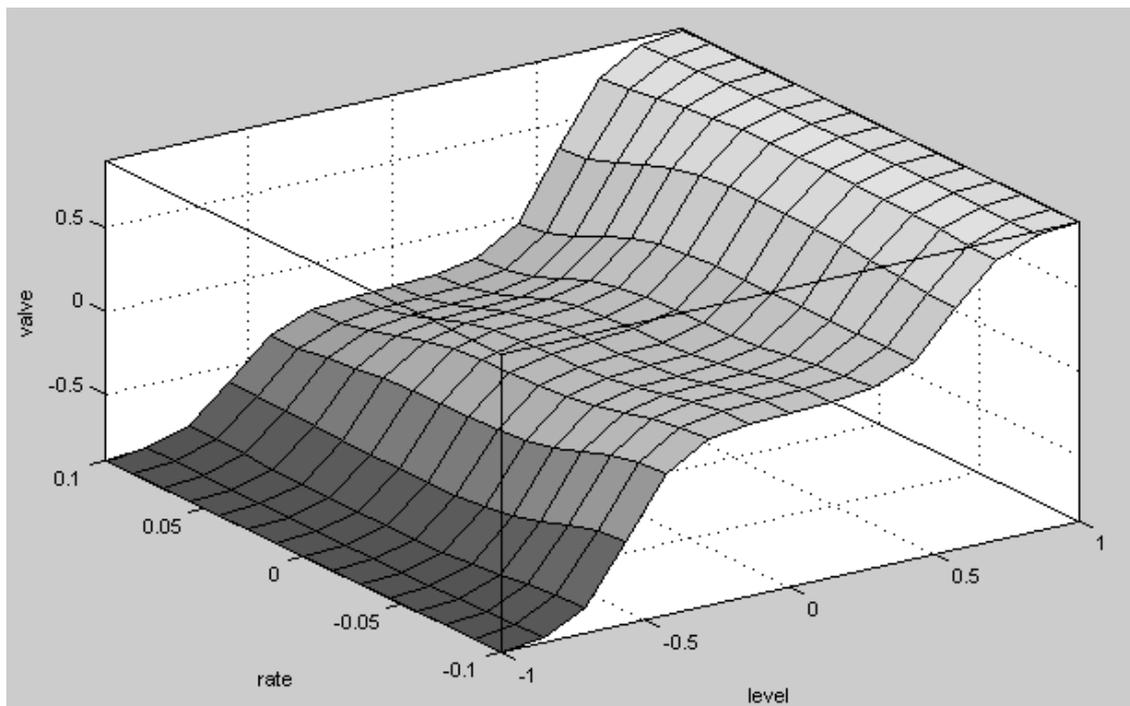


График 1- Плоскость нечёткого регулирования уровня жидкости в ёмкости.

Изменение дебита при изменении входных параметров показано на рисунке 4.

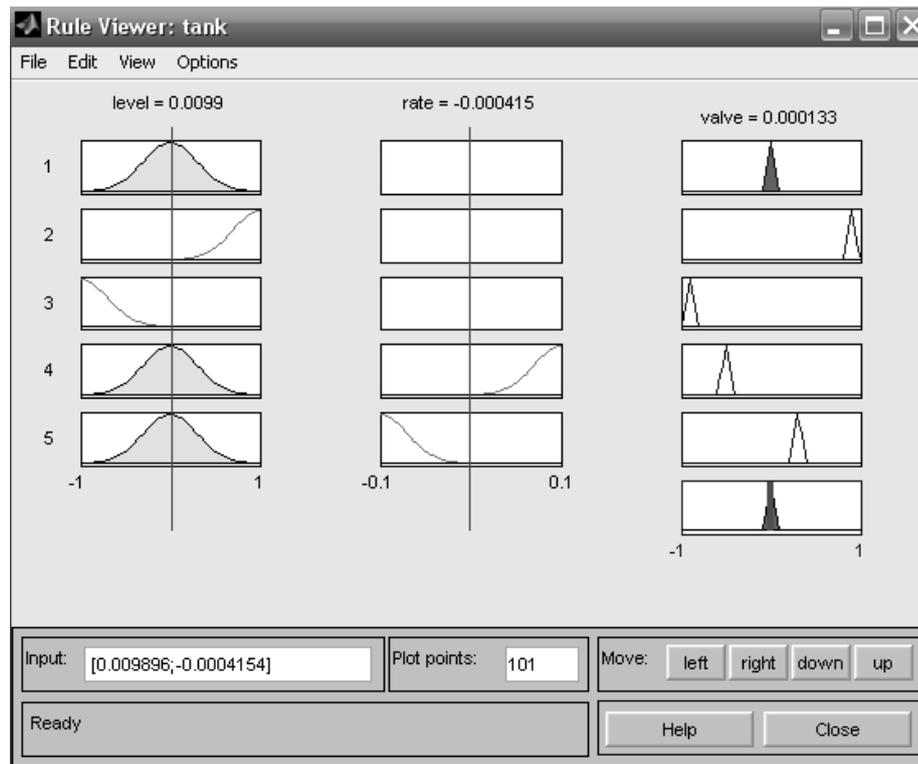


Рис. 4- Изменение параметра регулирования – valve при изменении входных level и rate.

valve - изменение дебита потока;

level - скорость изменения уровня жидкости в ёмкости;

rate - разность между заданным уровнем жидкости и текущим.



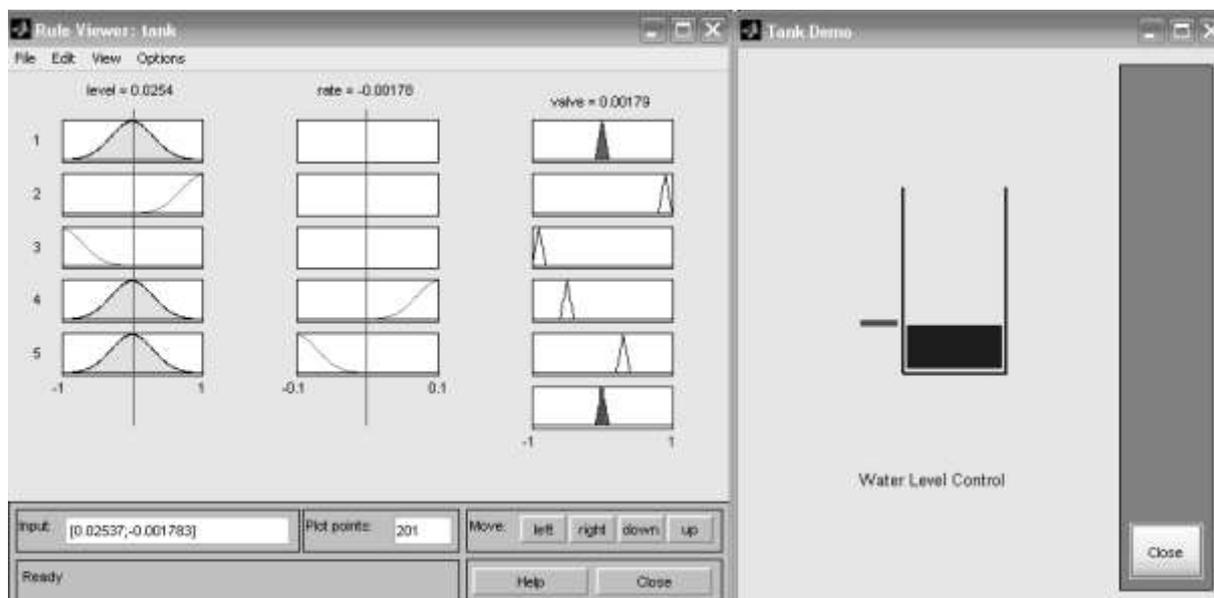


График 2- График поддержания оптимального уровня жидкости в ёмкости.

Регулирование осуществляется следующим образом:

Если скорость изменения уровня жидкости в ёмкости нормальная и имеет значение $Level = 0.0254$ и разность между заданным уровнем жидкости и текущим отрицательна и равна $Rate = -0.00178$, то скорость изменения дебита имеет положительную величину равную $Valve=0.00179$, то есть дебит начинает увеличиваться с большей скоростью и уровень в ёмкости растёт и наоборот, если скорость изменения уровня нормальная ($Level = 0.0423$) и разность между текущим значением уровня и заданным положительна ($Rate=0.000761$), то дебит начинает уменьшаться ($valve=-0.000828$).

Вывод: Таким образом, система регулирования, реализованная на базе нечёткой логики в отличие от систем, основанных на ПИД – регулировании реагирует не просто на изменении уровня, а на скорость этого изменения, тем самым позволяет системе находить оптимальный алгоритм поведения, при изменении этой скорости.

Приведенные в статье результаты будут использованы в цехе аммиака ОАО «Дорогобуж» при модернизации агрегата с целью увеличения выработки продукции, повышения надежности работы оборудования и снижения энергозатрат.

Список литературы:

1. *Аверкин А.Н., Батыриин И.З.* Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986. – С. 225-235.
2. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. – 166с.
3. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736с.

А. Г. Горюнов к.т.н., Н. Н. Горюнова к.э.н., Д. Г. Рогозный

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
ОАО «Сибирский химический комбинат»
Россия, г. Томск
alex1479@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА АФФИНАЖА УРАНА ПУТЕМ КАЧЕСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ

Рассмотрены основные положения системы автоматического управления экстракционным каскадом, позволяющей повысить эффективность технологического процесса аффинажа концентратов урана.

Ключевые слова: математическое моделирование, экстракция, центробежный экстрактор, система автоматического управления.

В настоящее время на радиохимическом заводе ОАО «Сибирский химический комбинат» (РХЗ СХК) ведутся монтажные работы по подготовке к пуску экстракционного каскада аффинажа урановых концентратов с применением центробежных экстракторов [1]. На данный момент проектные системы автоматического управления (САУ) выполнены по аналогу каскада экстракционных колонн, существующих на РХЗ СХК. Однако, особенности новой технологии (другая конфигурация экстракторов, наличие протяженных трубопроводов, измененное расположение датчиков КИП, применение пневматического привода на регулирующей арматуре и другие факторы) приведут к тому, что в процессе пуско-наладки и отработки технологии потребуются коррекция проектных решений для обеспечения нормального функционирования САУ новым технологическим процессом. Поэтому с целью оптимизации контроля и управления каскадом экстракционного аффинажа концентратов природного урана на центробежных экстракторах необходимо использовать современный опыт в области математического моделирования и разработки систем управления технологическими процессами и производствами [2].

Цель исследований – разработка системы автоматического управления экстракционным каскадом для повышения эффективности технологического процесса аффинажа концентратов природного урана.

Информационная структурная схема каскада центробежных экстракторов (технологического объекта управления) представлена на рис. 1. Перерабатываемый продукт, водная фаза (ВФ) – азотнокислый раствор концентратов природного урана, содержащий примеси, поступает в монжюс, где доводится до требуемых регламентом значений концентраций урана и азотной кислоты. Далее под действием сжатого воздуха перекачивается в емкость-сборник перерабатываемого продукта. Подготовленный раствор – первая водная фаза (ВФ1) с помощью электрических насосов передается в экстракционный блок (ЭБ) центробежных экстракторов. Кроме того, в ЭБ с помощью электрических насосов закачивается органическая фаза (ОФ) – экстрагент (раствор трибутилфосфата в керосине) из емкости-сборника ОФ. Расходы ВФ1 ($Q_{ВФ1}$) и ОФ ($Q_{ОФ}$) стабилизируются локальными системами автоматического управления (САУ). В экстракционном блоке центробежных экстракторов происходит взаимодействие экстрагента с исходным раствором, вследствие чего уран из исходного раствора переходит в экстрагент. Существенная часть примесей остается в водном потоке – рафинате (РФ), отвальном продукте. Первый экстракт урана (Э1) из ЭБ самотеком поступает в промывной блок (ПБ) центробежных экстракторов. В этот же

блок поступает третья водная фаза (ВФ3) – азотнокислый раствор урана, ранее очищенный от примесей. Расход ВФ3 ($Q_{ВФ3}$) стабилизируется локальной САУ. В промывном блоке происходит дополнительное насыщение экстракта ураном с целью максимального вытеснения из него примесей. Рафинат промывного блока – четвертая водная фаза (ВФ4) самотеком поступает в емкость сборник и далее – в монжюс.

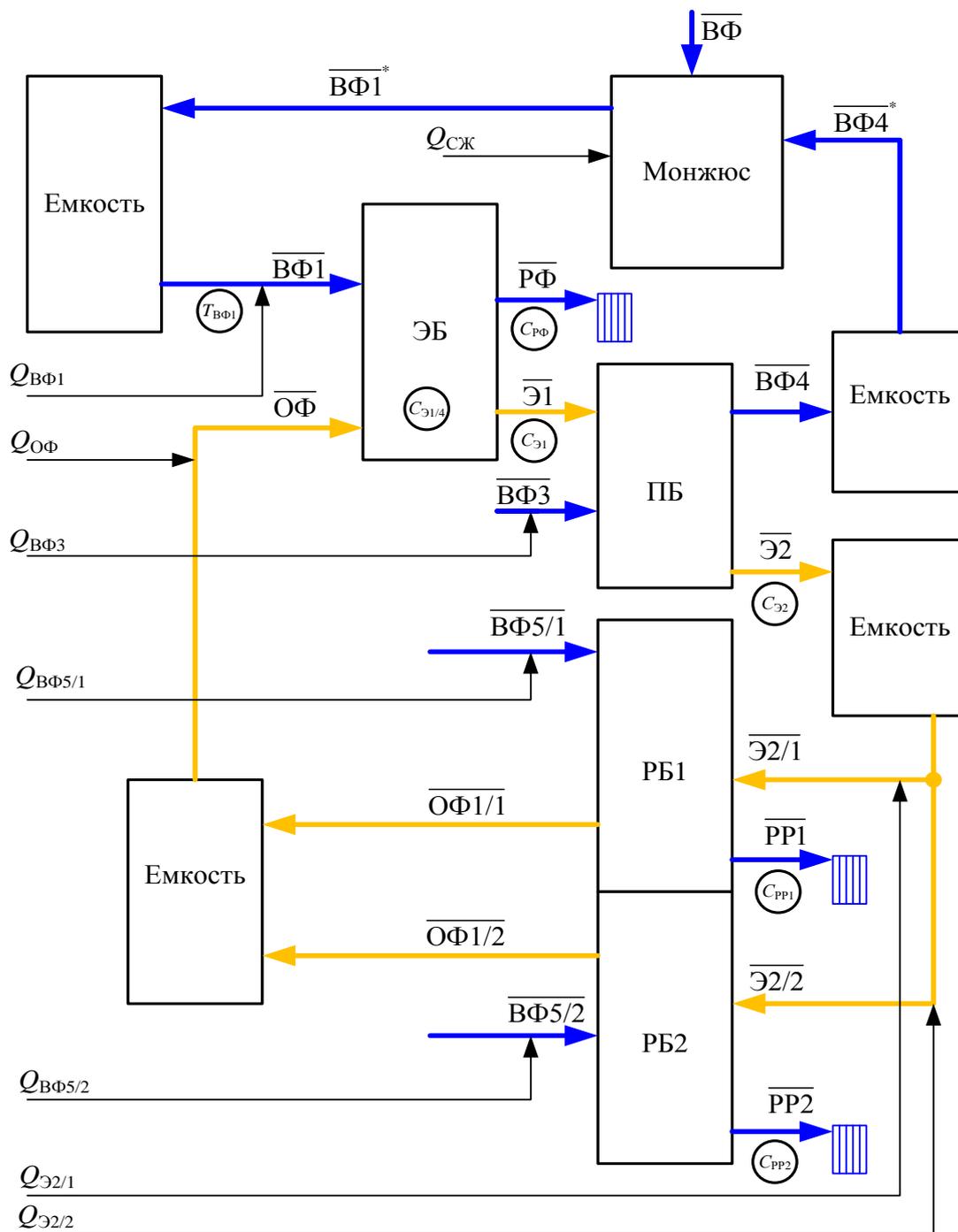


Рис. 1. Информационная структурная схема технологического объекта управления.

Второй экстракт (Э2) из промывного блока поступает в буферную емкость-сборник экстракта. Откуда экстракт Э2 (Э2/1 и Э2/2) перекачивается электрическими насосами в два реэкстракционных блока (РБ1/2) центробежных экстракторов, работающих параллельно. Одновременно с экстрактами Э2/1 и Э2/2 в РБ1 и РБ2 поступает конденсат сокового пара – пятая водная фаза (ВФ5/1 и ВФ5/2). В РБ1 и РБ2 происходит процесс реэкстракции урана.

Резэкстракты урана (PP1 и PP2) поступают в емкости-сборники целевого продукта – очищенный до ядерной чистоты от примесей азотнокислый раствор концентратов природного урана. Обратные экстрагенты (ОФ1/1 и ОФ1/2) самотеком поступают в емкость-сборник ОФ. Расходы ВФ5/1 ($Q_{ВФ5/1}$), ВФ5/2 ($Q_{ВФ5/2}$), Э2/1 ($Q_{Э2/1}$) и Э2/2 ($Q_{Э2/2}$) стабилизируются локальными САУ.

Проектная АСУ ТП помимо указанных САУ расходами ВФ и ОФ производит контроль, сигнализацию и релейные блокировки. В том числе, в экстракционном блоке ведется контроль и сигнализация по концентрации урана в экстракте на выходе ($C_{Э1}$), в середине ЭБ ($C_{Э1/4}$) и в рафинате ($C_{РФ}$), в промывном блоке – по концентрации урана в экстракта Э2 ($C_{Э2}$), в резэкстракционных блоках – по концентрации урана в резэкстрактах (C_{PP1} и C_{PP2}). Таким образом, проектная АСУ ТП не предусматривает автоматического управления концентрациями урана в экстрактах и резэкстрактах.

Для достижения поставленной цели разработаны математические модели элементов каскада центробежных экстракторов как объектов управления [3], включая модель центробежного экстрактора (смесительной и разделительной камер), модель монжюса, модель промежуточной емкости. На основе этих элементов разработана динамическая модель каскада центробежных экстракторов, соответствующая схеме на рис. 1. В качестве макрокомпонентов учитывается уран и кислота, а в качестве микрокомпонента – молибден, вызывающий наибольшие затруднения при аффинаже урана [4]. С помощью подхода математического моделирования выполнен многокритериальный синтез и анализ [5] САУ экстракционным каскадом. Для управления экстракционным блоком предложена двухконтурная САУ концентрацией урана $C_{Э1}$ и $C_{Э1/4}$ (см. рис. 2).

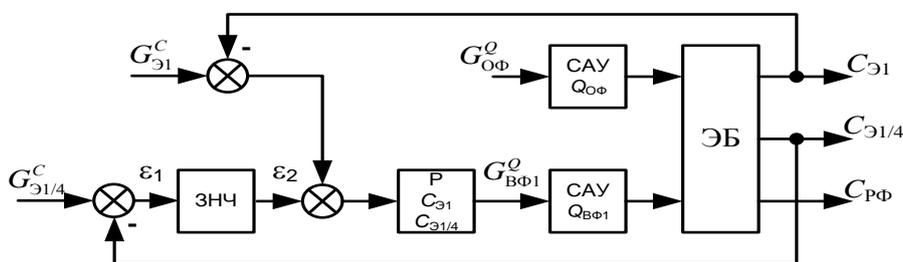


Рис. 2. Система автоматического управления экстракционным блоком: G – заданная величина, P – регулятор, ЗНЧ – зона нечувствительности.

Особенность данной системы – ЗНЧ, которая обеспечивает нечувствительность САУ к положительным отклонениям концентрации урана $C_{Э1/4}$, что допускает снижение концентрации урана в рафинате и ограничивает ее рост относительно заданного значения:

$$\begin{cases} \varepsilon_2 = 0, & \text{при } \varepsilon_1 \geq 0 \\ \varepsilon_2 = \varepsilon_1, & \text{при } \varepsilon_1 < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Помимо данной САУ для управления промывным блоком предлагается управлять концентрацией урана $C_{Э2}$ с помощью расхода $Q_{ВФ3}$, а в резэкстракционных блоках – концентрациями C_{PP1} и C_{PP2} с помощью расходов $Q_{ВФ5/1}$ и $Q_{ВФ5/2}$ соответственно. В предложенных системах используются типовые ПИД-регуляторы.

На рис. 3 представлены переходные процессы в САУ экстракционным каскадом при непрерывных возмущениях по концентрациям урана $C_{ВФ1}$ и $C_{ВФ2}$ в перерабатываемых растворах ВФ1 и ВФ2.

Внедрение системы управления позволит повысить эффективность аффинажа урана, а именно снизить производственные затраты на реагенты не менее чем 10% и повысить производительность каскада на 10%. Повышение эффективности обусловлено более качественным управлением экстракционным каскадом, а именно стабилизацией

концентраций в экстракте и реэкстракте на заданном уровне со среднеквадратичным отклонением не более $1 \div 3\%$.

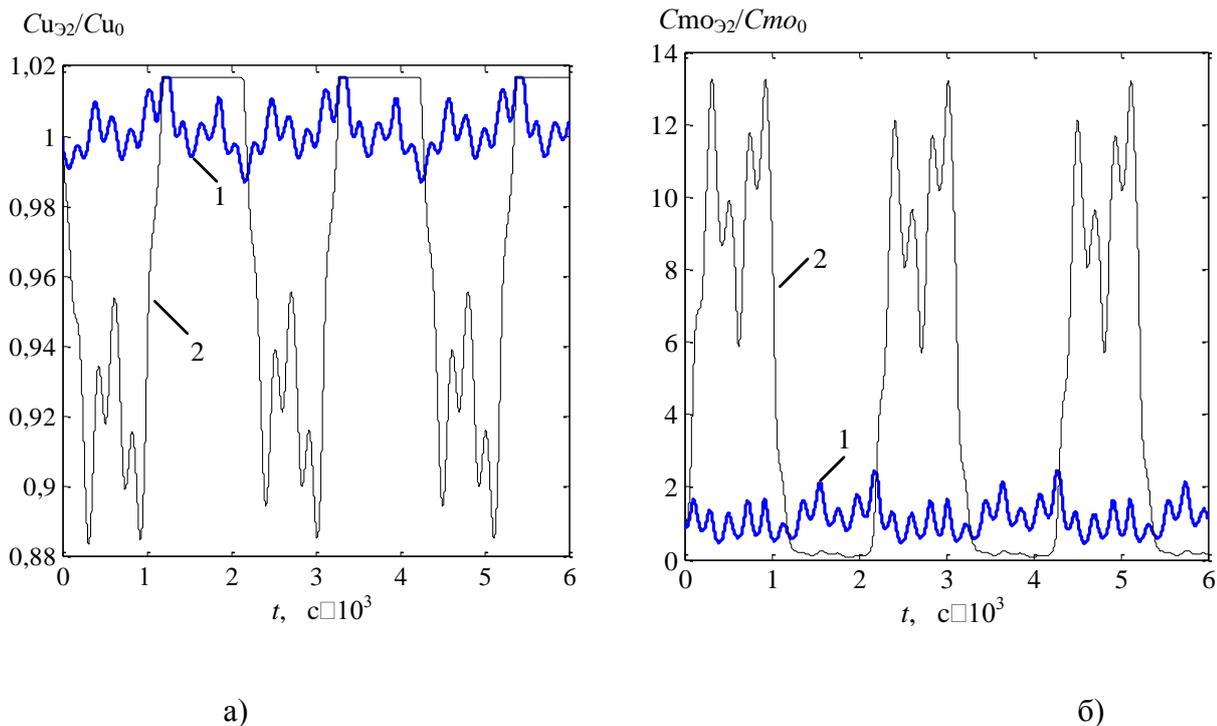


Рис. 3. Переходные процессы САУ: а – по концентрации урана в экстракте (Cu_{32}), б – по концентрации молибдена в экстракте (Stm_{32}), 1,2 – автоматическое и ручное управление, Cu_0 , Stm_0 – концентрации урана и молибдена без возмущений.

Использование результатов данного исследования позволит повысить рентабельность производства за счет снижения материалоемкости производственного процесса, уменьшения затрат на единицу выпуска продукции и увеличения производительности.

Список литературы:

1. Лазарчук В.В., Шикерун Т.Г., Рябов А.С., Шамин В.И., Жиганов А.Н. Перспективы Сибирского химического комбината в увеличении объемов переработки урановых концентратов // Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 3. – С. 5–10.
2. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Rogozный Д.Г. Чурсин Ю.А. Динамическая модель многокомпонентного неравновесного экстракционного процесса в пульсационной колонне // Радиохимия. – 2011. – Т. 53. – №3. – С. 237–241.
3. Горюнов А.Г. Динамическая модель неравновесного многокомпонентного экстракционного процесса в смесительной камере центробежного экстрактора // Научно-технический вестник Поволжья. № 4. – Казань, 2011. – С. 129-132.
4. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2006. – 396 с.
5. Горюнов А.Г., Турецков К.В., Чурсин Ю.А. Система управления экстракционной колонной // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2009. – № 1. – С. 56–65.

А. А. Ермаков, С. Н. Падалко д.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Россия, г. Москва
aleral@mail.ru, snp@inmas.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СФЕРЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Задача обнаружения микроорганизмов на изображении является более чем простой для человеческого зрения, однако при попытке построения автоматической системы обнаружения микроорганизмов приходится столкнуться со многими сложностями. Существующие алгоритмы обнаружения микроорганизмов можно разбить на две широкие категории. К первой категории относятся методы, отталкивающиеся от опыта человека в распознавании микроорганизмов и делающие попытку формализовать и алгоритмизировать этот опыт, построив на его основе математическую модель распознавания. Вторая категория опирается на инструментарий распознавания образов, рассматривая задачу обнаружения микроорганизмов, как частный случай задачи распознавания.

Ключевые слова: математическая модель, биологическая безопасность, искусственная нейронная сеть, медицинский контроль.

1.1 Методы первой категории - Эмпирическое распознавание

Человеческий мозг справляется с задачей обнаружения микроорганизмов на изображениях более чем успешно. Естественно было бы попробовать определить и использовать принципы, которыми руководствуется мозг при решении задачи распознавания. Среди методов, делающих такую попытку, можно выделить два направления: методы распознавания "сверху-вниз" основанные на знаниях и методы распознавания "снизу-вверх" основанные на особенностях.

Распознавание "сверху-вниз" означает построение некоторого набора правил, которым должен отвечать фрагмент изображения, для того чтобы быть признанным микроорганизмом. Этот набор правил является попыткой формализовать эмпирические знания о том, как именно выглядит микроорганизм на изображениях и чем руководствуется человек при принятии решения микроорганизм он видит или нет. Довольно легко построить набор простых и очевидных свойств изображения микроорганизма. Опираясь на эти свойства, можно построить алгоритм проверяющий их наличие на фрагменте изображения. К этому же семейству методик можно также отнести распознавание с помощью шаблонов, заданных разработчиком. Обнаружение микроорганизмов с помощью шаблона заключается в проверке каждой из областей изображения на соответствие заданному шаблону.

Распознавание "снизу-вверх" использует инвариантные свойства изображений микроорганизмов, опираясь на предположение, что раз человек может без усилий распознать микроорганизм на изображении независимо от его ориентации, условий освещения и индивидуальных особенностей, то должны существовать некоторые признаки присутствия микроорганизмов на изображении, инвариантные относительно условий съемки. Алгоритм работы методов распознавания "снизу-вверх" может быть кратко описан следующим образом:

1. Обнаружение элементов и особенностей (features), которые характерны для изображения микроорганизма;

2. Анализ обнаруженных особенностей, вынесение решения о количестве и расположении микроорганизмов;

1.1.1 Обнаружение элементов и особенностей (features), которые характерны для изображения микроорганизмов.

Края (edges) - резкие переходы яркости. Края обычно соответствуют границам объектов на изображении. Это свойство также используется в ряде работ, которые рассматривают края на изображении как признаки потенциального присутствия микроорганизмов.

Яркость. Области изображения, соответствующие микроорганизмам, зачастую темнее, чем окружающая их питательная среда. Воспользовавшись этим наблюдением, ряд исследователей использует алгоритмы обнаружения и подчеркивания областей локальных минимумов яркости, рассматривая их как потенциальные микроорганизмы. В некоторых работах делается попытка использовать определенные схемы взаимоотношений яркостей, характерных для некоторых микроорганизмов.

Цвет - несмотря на то, что яркость обычно является основным источником информации во многих задачах машинного зрения, цвет (благодаря дополнительной информации об оттенке объекта) является более мощным средством распознавания и различения объектов на изображении. Как показали эксперименты, цвет различных микроорганизмов занимает достаточно небольшую ограниченную подобласть цветового пространства, даже при рассмотрении цветов микроорганизмов различных классов.

Характерная форма микроорганизмов. Исходя из того, что процессам распознавания визуальных образов высокого уровня в мозгу предшествует некая низкоуровневая организация визуальной информации, было предложено несколько операторов, подчеркивающих области изображения, обладающими свойствами, характерными для микроорганизмов. Такими, например, как симметричность. Результатом применения таких операторов является набор точек на изображении, с высокой вероятностью относящиеся к микроорганизмам. Другой близкий вариант распознавания - использование жестких или деформируемых шаблонов для обнаружения микроорганизмов.

1.1.2 Анализ обнаруженных особенностей, вынесение решения о количестве и расположении.

После того, как на изображении выделены области, обладающие свойствами, характерными для микроорганизмов, производится их комплексная проверка для выявления областей, действительно являющихся микроорганизмами. Сущность этой проверки зависит от характера используемых признаков, а также от избранной исследователями стратегии. Например, если в качестве признаков выступают потенциальные черты микроорганизмов, обнаруженные с помощью анализа карты краев, то проверкой будет анализ их взаимного расположения с целью определения, могут ли они образовывать колонии микроорганизмов. Если используется также распознавание по цвету, то может быть добавлено дополнительное условие, что рассматриваться в качестве потенциальных микроорганизмов будут только области близкие по цвету к оттенку микроорганизмов. Проверка соотношения обнаруженных признаков микроорганизмов может быть основана на: некотором эмпирическом алгоритме [1], статистике взаимного расположения признаков, собранной по изображениям микроорганизмов [3], моделировании процессов, происходящими в человеческом мозгу при распознавании визуальных образов [2], применении жестких или деформируемых шаблонов [4] и т.д.

1.2 Методы второй категории, моделирование изображения микроорганизмов.

Второе семейство методов подходит к проблеме с другой стороны, и, не пытаясь в явном виде формализовать процессы, происходящие в человеческом мозге, стараются выявить закономерности и свойства изображения микроорганизмов неявно, применяя методы математической статистики и машинного обучения. Методы этой категории опираются на инструментарий распознавания образов, рассматривая задачу обнаружения микроорганизмов, как частный случай задачи распознавания. Изображению (или его

фрагменту) ставится в соответствие некоторым образом вычисленный вектор признаков, который используется для классификации изображений на два класса - микроорганизм/не микроорганизм. Самый распространенный способ получения вектора признаков это использование самого изображения: каждый пиксель становится компонентом вектора, превращая черно-белое изображение $n \times m$ в вектор пространства $R^{n \times m}$. Недостатком такого представления является чрезвычайно высокая размерность пространства признаков. Достоинство заключается том, что используя все изображение целиком вместо вычисленных на его основе характеристик, из всей процедуры построения классификатора (включая выделение устойчивых признаков для распознавания) полностью исключается участие человека, что потенциально снижает вероятность ошибки построения неправильной модели изображения микроорганизма вследствие неверных решений и заблуждений разработчика.

Обычно поиск микроорганизмов на изображениях с помощью методов, основанных на построении математической модели изображения микроорганизмов, заключается в полном переборе всех прямоугольных фрагментов изображения всевозможных размеров и проведения проверки каждого из фрагментов на наличие микроорганизмов. Поскольку схема полного перебора обладает такими безусловными недостатками, как избыточность и большая вычислительная сложность, авторами применяются различные методы сокращения количества рассматриваемых фрагментов.

1.2.1 Моделирование класса изображений с помощью Метода Главных Компонент (Principal Components Analysis, PCA)

Метод главных компонент [5] применяется для снижения размерности пространства признаков, не приводя к существенной потере информативности тренировочного набора объектов. Применение метода главных компонент к набору векторов линейного пространства R^n , позволяет перейти к такому базису пространства, что основная дисперсия набора будет направлена вдоль нескольких первых осей базиса, называемых *главными* осями (или главными компонентами). Таким образом, основная изменчивость векторов тренировочного набора представляется несколькими главными компонентами, и появляется возможность, отбросив оставшиеся (менее существенные), перейти к пространству существенно меньшей размерности. Натянутое на полученные таким образом главные оси подпространство размерности $m \ll n$ является оптимальным среди всех пространств размерности m в том смысле, что наилучшим образом (с наименьшей ошибкой) описывает тренировочный набор изображений.

В приложении к задаче обнаружения микроорганизмов, МГК обычно применяется следующим образом. После вычисления главных осей тренировочного набора изображений микроорганизмов, вектор признаков тестового изображения проецируется на подпространство, образованное главными осями. Вычисляются две величины: расстояние от проекции тестового вектора до среднего вектора тренировочного набора - Distance in Feature Space (DIFS), и расстояние от тестового вектора до его проекции в подпространство главных компонент - Distance From Feature Space (DFFS). Исходя из этих расстояний выносятся решение о принадлежности тестового изображения классу изображений микроорганизмов [6].

1.2.2 Моделирование класса изображений с помощью Факторного анализа (Factor Analysis, FA)

Факторный анализ (ФА) [8], как и многие методы анализа многомерных данных, опирается на гипотезу о том, что наблюдаемые переменные являются косвенными проявлениями относительно небольшого числа неких скрытых факторов. ФА, таким образом, это совокупность моделей и методов ориентированных на выявление и анализ скрытых (латентных) зависимостей между наблюдаемыми переменными. В контексте задач распознавания, наблюдаемыми переменными обычно являются признаки объектов. Факторный анализ можно рассматривать как обобщение метода главных компонент.

Цель ФА в контексте задачи обнаружения микроорганизмов - получить модель изображения микроорганизмов (с обозримым числом параметров), с помощью которой

можно провести оценку близости тестового изображения к изображению микроорганизмов [9].

1.2.3 Проблема сбора контрпримеров для тренировки классификаторов

Методы, использующие МГК и ФА требуют для тренировки классификатора только набора положительных случаев распознавания (изображений микроорганизмов), им не требуются контрпримеры (изображения без микроорганизмов). Методы описанные ниже нуждаются также и в контрпримерах, что поднимает еще одну проблему - как найти репрезентативный набор изображений "не микроорганизма" для успешной тренировки классификатора? В работе [10] предложено решение этой проблемы методом самонастройки - он заключается в постепенном формировании набора контрпримеров, по результатам проводимых тестов. На первом шаге для тренировки классификатора используется небольшого тренировочного набора изображений-контрпримеров. Затем производится тестирование на некоторой случайной выборке из базы данных изображений. Все изображения, в ходе теста ошибочно распознанные, как микроорганизмы, добавляются в набор контрпримеров и тренировка повторяется.

1.2.4 Моделирование распределения векторов микроорганизмов с помощью смеси многомерных нормальных распределений (mixture of Gaussians)

МГК и Факторный Анализ являются мощными и удобными способами получения подпространства для эффективного представления класса объектов во многих случаях, однако они не обязательно являются оптимальными инструментами для моделирования многообразия изображений микроорганизмов. Попытка построить модель, состоящую из нескольких кластеров изображений микроорганизмов и "не микроорганизмов", смоделировав каждый из них с помощью многомерной нормальной плотности распределения была сделана в [10]. Рассматривая черно-белые изображения размером 19x19 пикселей как вектора в 361-мерном пространстве, был найден набор кластеров, образованных изображениями микроорганизмов и "не микроорганизмов". Расстояния до этих кластеров передавались нейронной сети (многослойному перцептрону), выносившему решение о наличии микроорганизма на изображении.

1.2.5 Линейный Дискриминантный Анализ (Linear Discriminant Analysis, LDA)

Линейный Дискриминантный Анализ [7], в отличие от МГК и ФА не ставит своей целью найти подпространство меньшей размерности, наилучшим образом описывающее набор тренировочных изображений. Его задача - найти проекцию в пространство, в котором разница между различным классами объектов максимальна. Это требование формулируется как получение максимально компактных кластеров, соответствующих различным классам, удаленных на максимально возможное расстояние. С помощью ЛДА удается получить подпространство небольшой размерности, в котором кластеры изображений микроорганизмов и "не микроорганизмов" пересекаются минимально. Производить классификацию в таком пространстве значительно проще [9].

1.2.6 Метод Опорных Векторов (Support Vector Machines, SVM)

Цель тренировки большинства классификаторов - минимизировать ошибку классификации на тренировочном наборе (называемую *эмпирическим риском*). В отличие от них, с помощью метода опорных векторов [11] можно построить классификатор минимизирующий верхнюю оценку *ожидаемой* ошибки классификации (в том числе и для неизвестных объектов, не входивших в тренировочный набор). Применение метода опорных векторов к задаче обнаружения микроорганизмов заключается в поиске гиперплоскости в признаковом пространстве, отделяющий класс изображений микроорганизмов от изображений "не микроорганизмов".

Возможность линейного разделения столь сложных классов, как изображения микроорганизмов и "не микроорганизмов" представляется маловероятной. Однако, классификация с помощью опорных векторов позволяет использовать аппарат *ядерных функций* [12] для неявного проецирования векторов-признаков в пространство потенциально намного более высокой размерности (еще выше, чем пространство изображений!), в котором

классы могут оказаться линейно разделимы. Неявное проецирование с помощью ядерных функций не приводит к усложнению вычислений, что позволяет успешно использовать линейный классификатор для линейно неразделимых классов [13].

1.3 Достоинства и недостатки методов первой и второй категории

Основа методов первой категории - эмпирика, является одновременно их сильной и слабой стороной. Большая изменчивость объекта распознавания, зависимость вида микроорганизмов на изображении от условий съемки и освещения позволяют без колебаний отнести обнаружение микроорганизмов на изображении к задачам высокой сложности. Применение эмпирических правил позволяет построить некоторую модель изображения микроорганизмов и свести задачу к выполнению некоторого количества относительно простых проверок. Однако, несмотря на безусловно разумную посылку - попытаться использовать и повторить уже успешно функционирующий инструмент распознавания - человеческое зрение, методы первой категории пока далеки по эффективности от своего прообраза, поскольку исследователи, решившие выбрать этот путь, сталкиваются с рядом серьезных трудностей. Во-первых, процессы, происходящие в мозгу во время решения задачи распознавания изображений изучены далеко не полностью, и тот набор эмпирических знаний о микроорганизмах, которые доступны исследователям на "сознательном уровне", далеко не исчерпывает инструментарий, используемый мозгом "подсознательно". Во-вторых, трудно эффективно перевести неформальный человеческий опыт и знания в набор формальных правил, поскольку чересчур жесткие рамки правил приведут к тому, что в ряде случаев микроорганизмы не будут обнаружены, и напротив, слишком общие правила приведут к большому количеству случаев ложного обнаружения.

Можно перечислить следующие проблемы, общие для методов второй категории:

1. Зависимость от ориентации и масштаба микроорганизмов. Большинство классификаторов не являются инвариантными к повороту микроорганизмов в плоскости изображения и изменению его размера. Поэтому для успешного обнаружения микроорганизмов, отличного по размеру или ориентации от микроорганизмов в тренировочном наборе, требуется дополнительная обработка входного изображения (масштабирование, поворот). Проблему изменения масштаба решают, обычно, путем полного перебора всех возможных прямоугольных фрагментов изображения всех возможных размеров. Попытка же рассматривать еще и все возможные углы поворота микроорганизмов в плоскости изображения приведет к тому, что время выполнения и без того долгой процедуры перебора фрагментов превысит все мыслимые пределы. Если говорить о повороте микроорганизмов вне плоскости изображения, то это является проблемой для многих методов из обеих категорий, поскольку при значительном повороте микроорганизмов на изображении изменяется настолько сильно, что многие признаки и правила (заданные разработчиком или полученные неявно) распознавания фронтального изображения микроорганизмов становятся совершенно непригодными.

2. Неявный способ определения признаков для распознавания микроорганизмов таит в себе потенциальную опасность: классификатор, обладающий недостаточно репрезентативным набором изображений микроорганизмов, теоретически может выделить вторичные или ложные признаки в качестве важных. Одно из следствий - потенциальная зависимость от освещения, которое преобладало в тренировочном наборе. В ряде случаев [14] применяется дополнительная предобработка изображения для компенсации влияния освещения.

3. Высокая вычислительная сложность. Во-первых, сами классификаторы часто включают в себя большое количество достаточно сложных вычислений; во-вторых, полный перебор всех возможных прямоугольных фрагментов изображения сам по себе занимает большое количество времени. Это затрудняет использование некоторых методов в системах реального времени.

Сравнивать между собой качество распознавания методов разных категорий достаточно тяжело, поскольку в большинстве случаев, опираться можно только на данные

испытаний, предоставляемые самими авторами, поскольку провести крупномасштабное исследование по реализации большинства известных методов и сравнения их между собой на едином наборе изображений не представляется возможным по причине невообразимой трудоемкости этой задачи.

На основе информации, предоставляемой авторами методов, также сложно провести корректное сравнение, поскольку проверка методов часто производится на разных наборах изображений, с разной формулировкой условий успешного и неуспешного обнаружения. К тому же проверка для многих методов первой категории производилась на значительно меньших наборах изображений.

Заметное различие между первой и второй категорией описанных методов заключается еще и в том, что эмпирические методы часто довольно просты в реализации (особенно относительно методов второй категории), и предоставляют возможность гибкой настройки под конкретную задачу путем модификации интуитивно понятных параметров. Методы, опирающиеся на инструментарий распознавания образов, требуют значительных усилий по формированию тренировочных наборов изображений и обучению классификатора. Влияние параметров, контролирующего классификатор, на его поведение часто далеко неочевидно. Однако трудоемкость создания работающих прототипов методов второй категории частично компенсируется высокими заявленными показателями качества распознавания на больших коллекциях изображений.

Что касается рекомендаций по выбору метода для решения задачи обнаружения микроорганизмов, то можно сказать, что выбирать подходящий метод, исходя из цифровых показателей качества распознавания вряд ли целесообразно. Скорее, все зависит от конкретной задачи и условий в которых должен функционировать разрабатываемый алгоритм. Построение универсального метода, обеспечивающего высокий уровень распознавания при отсутствии ограничений на исходные изображения в настоящее время не представляется возможным, однако для большинства конкретных задач можно создать методы, предоставляющие достаточный уровень распознавания.

В качестве условий, влияющих на выбор метода решения задачи, можно перечислить следующие:

- Предполагаемое разнообразие микроорганизмов: ограниченный набор микроорганизмов, ограничения на возможный тип микроорганизмов, отсутствие ограничений;
- Цветное или черно-белое изображение;
- Масштаб микроорганизмов, разрешение и качество изображения (зашумленность, степень сжатия);
- Предполагаемое количество микроорганизмов, присутствующих на изображении: известно, примерно известно, неизвестно;
- Условия освещения: фиксированные известные, приблизительно известные, любые;
- Фон: фиксированный, контрастный однотонный, слабоконтрастный зашумленный, неизвестный.

Список литературы:

- 1) K. Sobottka and I. Pitas, " A novel method for automatic face segmentation, facial feature extraction and tracking ," Signal Processing: Image Communication, Vol. 12, No. 3, pp. 263-281, June, 1998.
- 2) F. Smeraldi, O. Carmona, and J. Bigun, " Saccadic search with Gabor features applied to eye detection and real-time head tracking ," Image Vision Comput. 18, pp. 323-329, 2000.
- 3) M. C. Burl and P. Perona, " Recognition of planar object classes ," in IEEE Proc. of Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 6, 1996.
- 4) L. C. De Silva, K. Aizawa, and M. Hatori, " Detection and tracking of facial features by using a facial feature model and deformable circular template," IEICE Trans. Inform. Systems E78-D(9), pp. 1195-1207, 1995.
- 5) "Метод главных компонент," Цифровая библиотека лаборатории компьютерной графики и мультимедиа при факультете ВМиК МГУ, <http://library.graphicon.ru/catalog/19>.
- 6) B. Moghaddam and A. Pentland, " Probabilistic visual learning for object representation ," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 19(1), pp. 696-710, 1997.
- 7) "Линейный дискриминантный анализ," Цифровая библиотека лаборатории компьютерной графики и мультимедиа при факультете ВМиК МГУ, <http://library.graphicon.ru/catalog/184>.
- 8) "Факторный анализ," Цифровая библиотека лаборатории компьютерной графики и мультимедиа при факультете ВМиК МГУ, <http://library.graphicon.ru/catalog/217>.
- 9) M.-H. Yang, N. Ahuja, and D. Kriegman, " Face Detection Using Multimodal Density Models ," Computer Vision and Image Understanding (CVIU), vol. 84, no. 2, pp. 264-284, 2001.
- 10) K.-K. Sung and T. Poggio, " Example-Based Learning for View- Based Human Face Detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, no. 1, pp. 39-51, Jan. 1998.
- 11) "Метод опорных векторов," Цифровая библиотека лаборатории компьютерной графики и мультимедиа при факультете ВМиК МГУ, <http://library.graphicon.ru/catalog/217>.
- 12) K.-R. Muller, S. Mika, G. Ratsch, K. Tsuda, and B. Scholkopf. " An introduction to kernel-based learning algorithms ," IEEE Transactions on Neural Networks, 12(2), pp. 181-201, 2001.
- 13) Jochen Maydt and Rainer Lienhart. " Face Detection with Support Vector Machines and a Very Large Set of Linear Features ," IEEE ICME 2002, Lousanne, Switzerland, pp. xx-yy, Aug. 2002
- 14) H. A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, " Neural network-based face detection ," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 20, pp. 23-38., January 1998
- 15) Л.Р. Рабинер, " Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи: Обзор ," Труды ИИЭР, т. 77, Номер 2, февраль 1989.

А. А. Ермаков, С. Н. Падалко д.т.н., Л. Б. Строгонова д.т.н., П. А. Фомкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Россия, г. Москва
aleral@mail.ru, snp@inmas.ru, buksan@list.ru, lucascane@live.ru

ПРОЕКТ УСТАНОВКИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСПОЗНАВАНИЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БОРТ ОБИТАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В статье дается обзор микробиологических рисков в процессе космического полета. Предлагается установка программно-аппаратного комплекса как часть мер по противодействию микробиологическим угрозам.

Ключевые слова: микробиологическая безопасность, распознавание образов, программно-аппаратный комплекс.

Функционирование МКС и претворение в жизнь планов по установке обитаемых планетных баз столкнулось с рядом технологических и конструкторских проблем, решение которых – создание адекватно функционирующей системы жизнеобеспечения (СЖО), которая позволит обеспечить длительное безопасное пребывание экипажа в герметично замкнутом объеме станции.

Одной из важнейших задач при разработке подобной системы является создание и поддержание в рабочих и жилых отсеках благоприятных атмосферных условий, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность и работоспособность космонавтов, находящихся в экстремальных условиях. Атмосфера космического объекта должна удовлетворять как физиологическим, так и гигиеническим нормативам. Гигиеническая обстановка в условиях герметично замкнутого объема определяется выделением вредных веществ самим человеком, оборудованием и микроорганизмами.

На основании опыта многолетней эксплуатации российских орбитальных станций, определены наиболее значимые микробиологические риски (медицинские, технические, технологические), способные оказывать влияние на безопасность полета и надежность функционирования космической техники. Процессы микробной контаминации среды, оснащения и оборудования обитаемых отсеков, протекают с высокой интенсивностью в условиях непрерывной работы сменяющихся экипажей, при осуществлении грузопотока (доставки с Земли различного оборудования, расходуемых материалов и т.п.). Среди микроорганизмов, формирующих микро эко сферу обитаемых космических и планетных станций, значительный удельный вес занимают обитатели природных резервуаров и, прежде всего, плесневые грибы и некоторые виды бактерий. Именно эти микроорганизмы обладают наиболее выраженной способностью резидентно заселять среду обитания, размножаться на конструкционных материалах различных классов, вызывая их биоповреждения. И, наконец, большинство представителей грибной флоры могут вызывать различные токсико-аллергические заболевания у людей. Таким образом, очевидно, какие проблемы может представлять неконтролируемый занос микроорганизмов в среду обитания космонавтов.

В настоящее время обеспечение микробиологической безопасности МКС требует решения минимум трёх глобальных технических проблем:

- создание средств и методов для определения вида микробиологического компонента в условиях малой гравитационной составляющей;
- создание аппаратуры для обеззараживания обитаемых отсеков МКС;

- средние энергетические и массогабаритные характеристики известной аппаратуры для обеззараживания 10 метров кубических обитаемых отсеков МКС: 50 ватт, 0.2 м куб, 0,3 кг (массы).

В связи с вышеизложенным, очевидна актуальность исследований и разработка различных методов, средств и технологий для оценки, контроля, управления и обеззараживания микробиологической обстановки в обитаемых космических объектах.

Методы диагностики микрофлоры до недавнего времени развивались главным образом на основе классических схем микробиологического анализа, который сводится к отправке микробиологических проб на Землю, в лабораторию, с выделением в чистой культуре возбудителя и последующей его идентификации по биохимическим, тинкториальным, антигенным и другим характерным свойствам. Многоэтапность этих анализов обуславливает их длительность и практически исключает экспрессность, удовлетворяющую космическим исследованиям. Длительность микробиологического анализа составляет, как минимум, несколько дней.

Экспресс-индикация - это своеобразная разведка большой армии лабораторной диагностики. Она находится на переднем крае научного поиска новых, простых, экономичных, быстрых методов индикации микробов, часть из которых в дальнейшем идет на вооружение лабораторной практики и благодаря этому последняя все время совершенствуется.

Основные объективные требования к экспрессным методам диагностики микрофлоры сводятся к следующему:

- получение результатов анализа в максимально короткие сроки (часы, идеально, минуты);
 - возможность проведения и завершения анализа без выделения искомого микроорганизма в чистой культуре, при использовании только нативного материала, в крайнем случае - с привлечением селективных биосред для быстрого накопления возбудителей;
 - бесспорно высокая специфичность и высокая чувствительность, как предпосылки надлежащей достоверности анализа;
 - высокая производительность, простота, доступность и воспроизводимость анализов.
- Эти требования в равной мере приложимы и к методам экспрессной диагностики состояний иммунитета.

В условиях космического пространства наиболее перспективным методом идентификации микроорганизмов является оптическое определение по форме колоний на основе математического метода распознавания образа.

Распознавание образов можно определить как отнесение исходных данных к определенному классу с помощью выделения существенных признаков или свойств, характеризующих эти данные, из общей массы несущественных деталей. Под классом образов понимается некоторая категория, определяющаяся рядом свойств, общих для всех её элементов.

Тщательное изучение задач, возникающих в процессе распознавания образов, позволяет прийти к более эффективным подходам к соответствующим классам. Слишком много тестов, с другой стороны, необоснованно усложнят вычисления, осуществляемые в процессе дальнейшего анализа. Отсутствует какое-либо общее правило для получения неких ориентиров, способствующих определению набора таких тестов. Подобный подход чрезмерно зависит от опыта и технической интуиции разработчика и поэтому часто не дает удовлетворительного решения задач распознавания образов, встречающихся в практической деятельности.

В основе идеи синтеза систем автоматического распознавания лежат способы, с помощью которых описываются и разделяются классы образов.

Для успешной реализации распознавания конкретных микроорганизмов нам понадобится База Знаний.

База знаний — это особого рода база данных, разработанная для управления знаниями (метаданными), то есть сбором, хранением, поиском и выдачей знаний.

Под базами знаний понимается совокупность фактов и правил вывода, допускающих логический вывод и осмысленную обработку информации. Они описываются в форме конкретных фактов и правил логического вывода над базами данных и процедурами обработки информации, представляющих сведения и знания о людях, предметах, фактах событиях и процессах в логической форме.

Если отдельная колония отличается от других хотя бы по одной характеристике на уровне ДА – НЕТ, то при наличии для нее, допустим, 17 характеристик, эффективность распознавания составит порядка 524288. Другими словами система различит ее из совокупности 524288 наблюдаемых колоний.

Данный проект аппаратно-программного комплекса, который будет выполнять все функции по распознаванию микроорганизмов, включает в себя, устройство экспресс диагностики для инкубации, микроскоп и вычислительную машину. Сначала проба инкубируется, после чего делается снимок микроскопом, а затем данные попадают в бортовой компьютер, который выдает нужный результат.

Список литературы:

1. Microbiologic pattern recognition in manned space vehicle and stations Paul Fomkin, Mrs. Natalia Novikova, Prof. Lubov Stroganova, Dr. Svetlana Poddubko. IAC 2010 Paper.

2. Ю.А. Николаев, Внеклеточные факторы адаптации бактерий к неблагоприятным условиям среды / Журнал «Прикладная биохимия и микробиология», 2004, том 40, № 4, с. 387-397;

3. Н.Д. Новикова, Длительные космические полеты человека и проблемы микробиологической безопасности; ИМБП РАН.

4. Novikova N.D. Microbiological risks inextended space mission // 11th International Conference “Space Activity and Relevant Insurance Applications”, Rome-March 15-16, 2001. Printed in Italy by Editoriale Ergon s.r.l. 2002. P. 245-253.

5. Natalia Novikova, Patrick De Boever, Svetlana Poddubko, Elena Deshevaya, Nikolai Polikarpov, Natalia Rakova, Ilse Coninx, Max Mergeay. Survey of the environmental biocontamination aboard the International Space Station. // Research in Microbiology. 2006. 157. P.5-12.

6. Stroganova L.B., Fomkin P.A. Aspects of microbiological control during longtime space expeditions // IAC 2009 Paper

7. Stroganova L.B., Fomkin P.A., Poddubko S.V., Novikova N.D. Technical problems of microbiological protection of a manned lunar station // GLUC 2010 Paper

А. С. Жив д.т.н.*, Б. Р. Исакулов к.т.н.**

*Владимирский государственный университет им. А. Г и Н. Г Столетовых
Россия, г. Владимир

**Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИЗОВАННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В работе рассматриваются исследования прочностных и деформативных свойств поризованного арболита из отходов промышленности и растительного сырья республик Центральной Азии в виде строительных материалов. Рассматривается характер и механизм разрушения материала.

Ключевые слова: отходы, бетон, арболит, деформация.

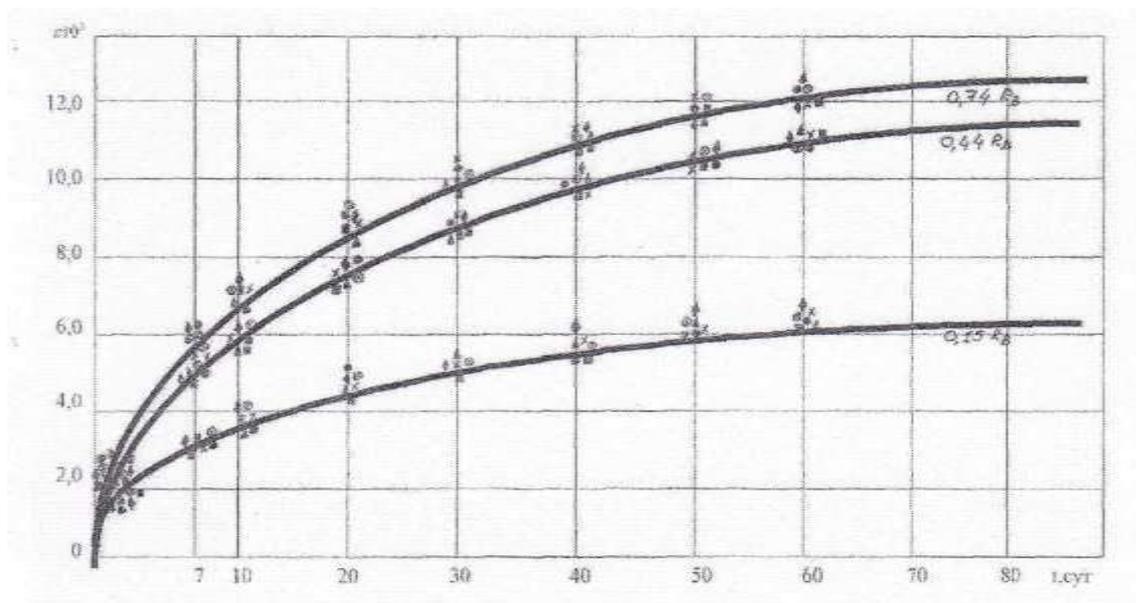
Строительство, отрасль народного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана, занимает одно из первых мест по использованию материальных ресурсов. Его современный размах ставит задачу решения вопросов экономного и рационального использования последних, прежде всего, от реализации имеющихся резервов – создания малоотходной, безотходной и энергосберегающей технологии в производстве строительных материалов с использованием отходов промышленности и сельского хозяйства.

Одной из областей применения промышленных и сельскохозяйственных отходов является производства арболита из однолетних растений агропромышленного комплекса республик Центральной Азии.

Для производства арболита Казахстан и Республики Средней Азии имеет богатейшую базу. В безлесных районах этих республик сырьем могут служить стебли хлопчатника, рисовая солома и лужга, костра конопли, стружки камыша, запасы, которых в данное время неисчерпаемы.

Однако возросшие требования к качеству арболита ставят задачу по дальнейшему повышению прочностных показателей этого вида материала с оптимальной структурой. Разрабатываются новые и совершенствуются известные составы и способы изготовления арболитных изделий и конструкций. Проведенные в НИИЖБ исследования показали, что повысить эффективность производства, упростить технологию изготовления изделий из арболита и улучшить свойства материала можно целенаправленным изменением свойств и структуры арболитовой смеси путем поризации и добавлением промышленных отходов. Исследования указывают на повышенную деформативность этого материала, что требует постановки дополнительных опытных работ [1,2,3].

Для исследование прочностных характеристик поризованного арболита нами изучались деформативные свойства арболита в 7-ми, 28-ми, и 90 суточном возрасте, деформативность растворной части, как и в ячеистых бетонах, оказывается наименьшей, то есть этот период может быть отнесен к первой фазе твердения поризованного арболита. К 28 суткам характер кривых деформаций несколько меняется, наблюдается уменьшение деформаций растворной части в связи с ростом прочности поризованного арболита (рис. 1).



■ - серия I; ▲ - серия II; ◆ - серия III; ○ - серия IV; х - серия V; ⊗ - серия VI

Рис. 1. График деформации ползучести поризованного арболита во времени.

По теории прочности А.В. Ваганова [4,5,6] в этот период должно наступить равенство между предельными деформациями органического заполнителя и растворной составляющей в материале. Однако в наших экспериментах этого не наблюдалось. Органический заполнитель постоянно показывал меньшую деформативность, чем растворная составляющая, несмотря на это деформативность материала и растворной составляющей совпадали, причем прочность заполнителя была меньше, чем всего материала.

Согласно упомянутой теории, начиная с момента, когда $\varepsilon_p < \varepsilon_3$ прочность легких бетонов не должна возрастать, так как этому препятствует разрушение органического заполнителя. Однако, как показывают опыты, прочность поризованного арболита продолжала возрастать даже к 90 суточному возрасту, несмотря на превышение деформативности растворной составляющей над деформативностью органического заполнителя. Иначе, теория о прекращении роста прочности поризованного арболита во второй фазе твердения не подтверждается, хотя рост прочности материала во второй фазе происходил менее интенсивно, чем в первой. Полученные результаты дают основание утверждать, что рост прочности материала во второй фазе твердения объясняется изменением модуля деформации составляющих поризованного арболита при нагружении призм-образцов (рис.2).

Установлено, что модуль деформации растворной части и материала с возрастанием напряжения уменьшается, а для органического заполнителя в определенном диапазоне относительного напряжения он возрастает. Можно предположить, что в нагруженном состоянии органический заполнитель оказывает большое сопротивление деформациям, упрочняется и может воспринимать большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии.

Упрочнение органического заполнителя в изучаемом диапазоне напряжений до $0,8 R_3$ происходит за счет уменьшения внутрискелетной (для хлопчатника) пористости и возникновения эффекта «обоймы». Это явление подтверждается изменением коэффициента Пуассона. Упрочнение органического заполнителя в поризованном арболите плотного строения в определенном периоде напряженного состояния является причиной роста прочности материала во второй фазе твердения и повышения абсолютной величины их прочности. Кроме того, причиной более высокой прочности поризованного арболита, по

сравнению с низкопрочным органическим наполнителем, является кольматация его пор цементным тестом (раствором), который затвердевая, вызывает повышение прочности стеблей хлопчатника. Эти два эффекта наблюдались в поризованных арболитах плотного строения и их влияние в материалах пористого и крупнопористого строения (со средней плотностью 450-600кг/м³) проявляется в меньшей степени или практически совсем не проявляется.

Характер и механизм разрушения поризованного арболита изучали с помощью традиционной тензометрической аппаратуры и глубинных тензометрических датчиков, ориентированных, главным образом, вдоль и перпендикулярно прилагаемой нагрузке к призмам. Глубинные тензодатчики закреплялись на стеблях хлопчатника с помощью эпоксидного клея и устанавливались в опытных образцах до бетонирования. Во избежание повреждения датчиков производилась их защита эпоксидной смолой.

Образцы нагружали под прессом этапами и нагрузку фиксировали манометром прессы при включенных автоматических измерителях деформаций.

Суть испытаний состояла в том, что глубинные тензометрические датчики были установлены как на стеблях хлопчатника, так и в растворной составляющей материала, что давало возможность определить первопричину последовательности разрушения составляющих материала (рис.3). Испытания были проведены тщательно, на большом (более 50) количестве призм-образцов. Эти опыты позволили дать исчерпывающий ответ на появившиеся в последние годы утверждения, что в поризованных легких бетонах (в том числе в арболите) соотношение между кубиковой и призмной прочностью приближается к единице и даже превосходит ее.

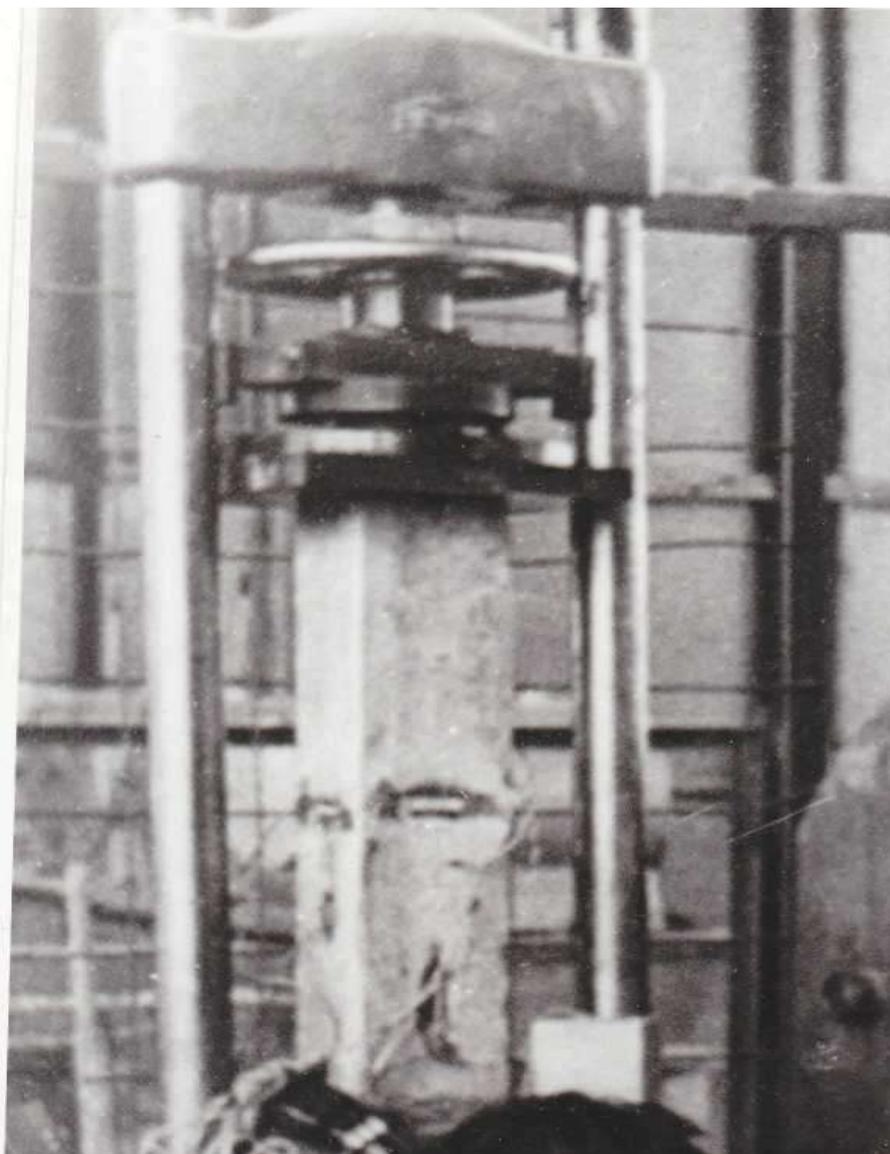


Рис. 2. Нагружение призм-образцов, характер и механизм разрушения.

Опыты показали следующее:

1. Тензометрические датчики, расположенные в растворной составляющей материала, фиксируют момент его разрушения и достижение предельной растяжимости поризованного арболита в призмах перпендикулярно действующей нагрузки пресса. В этом случае стрелка манометра пресса падает, то есть всегда наблюдается первоначальное разрушение материала.

2. Однако, тензометрические датчики, закрепленные на стеблях хлопчатника и ориентированные вдоль и поперек действующей нагрузки продолжают показывать рост деформаций, а стрелка манометра прессе продолжает показывать рост напряжений.

3. Описанный эффект не наблюдается в поризованном арболите пористого или крупнопористого строения низкой объемной массы.

4. При испытаниях поризованного арболита плотного строения одновременного разрушения растворной составляющей и органического заполнителя не происходило. Обычно наблюдалось последовательное разрушение, связанное с заполнителем, затем - с растворной составляющей, но только во второй фазе твердения. Разрушение же материала по растворной составляющей происходило только в первой фазе твердения.

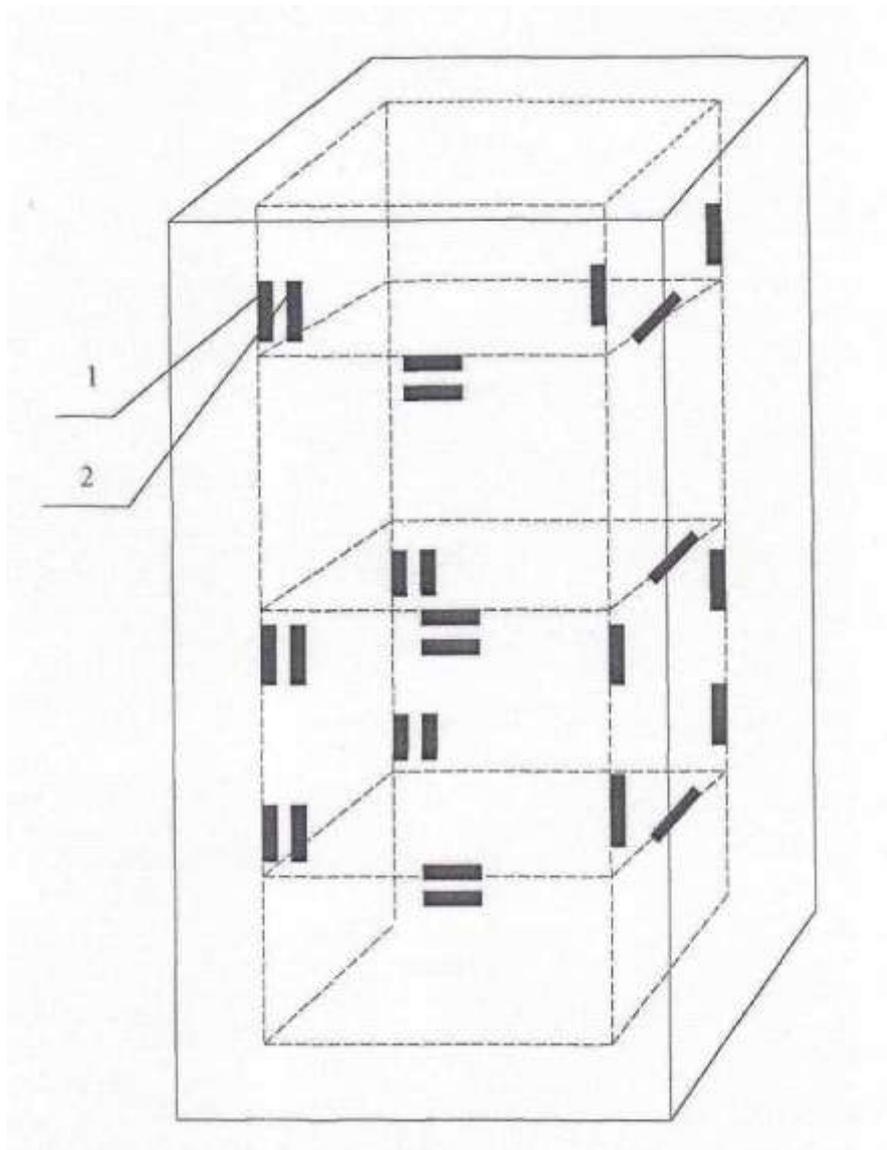


Рис.3. Схема установки глубинных тензодатчиков.
1- датчик на стебле хлопчатника; 2- датчик в растворной составляющей.

Выполненные исследования дают основание для уточнения гипотез формирования прочности поризованного арболита.

Теория А. И. Ваганова в полной мере приемлема для объяснения процесса нарастания прочности материала твердения, то есть когда деформативность растворной составляющей меньше деформативности кольматированных стеблей органического заполнителя. Для объяснения возрастания прочности поризованного арболита плотного строения во второй фазе твердения, указанная теория твердения требует уточнения, а именно: одновременного органического заполнителя и растворной составляющей в поризованном арболите плотного строения не наблюдается. Разрушение материала во второй фазе твердения происходит

ступенчато (заполнитель-раствор). Первоначальными разрушениями поризованного арболита плотного строения являются: при $\varepsilon_p < \varepsilon_s$ – растворная составляющая, при $\varepsilon_p < \varepsilon_s$ – кольматированный органический заполнитель. Конечная прочность поризованного арболита плотного строения во всех испытанных образцах определялась прочностью растворной составляющей; при $R_p < R_s$ происходит однофазное твердение и одноступенчатое разрушение – по раствору; при $R_{cu} < R_s$ происходит двухфазное твердение и двухступенчатое разрушение.

Прочность поризованного арболита пористого строения формируется в одну фазу, разрушение происходит одноступенчатое – кольматированному органическому заполнителю и им определяется в основном прочность материала.

Характер разрушения образцов из поризованного арболита различного возрасте наглядно иллюстрируют высказанные дополнения к гипотезам формирования прочности поризованного арболита и механизма его разрушения.

Пользуясь полученными данными, можно направлено планировать получение поризованного арболита различной прочности зерна органического заполнителя.

Безусловно, что полученные нами данные не могут в полной мере объяснить процессы формирования прочности поризованного арболита, механизм его деформаций и разрушения. Они нуждаются в дальнейшем изучении и уточнении.

Список литературы:

1. Абраменко Н.И. Поризованный цементный арболит на древесных заполнителях. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук IV НИИЖБ, 1980-с.18.
2. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Подход к оценке напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов через параметры механики разрушения // Бетон и железобетон, №5, 1994-19-23с.
3. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Механика разрушения железобетона. М.: Новый век, 1998-с.192.
4. Ржаницын А.Р. Неупругие деформации систем во времени. Сб. «Исследования по строительной механике», Гостройиздат, 1954.-с.286.
5. Ржаницын А.Р. Температурные напряжения, возникающие в бетонных плотинах от действия наружных температур. Сб. «Исследования по строительной механике», Гостройиздат, 1954.-с.286.
6. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты). Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1978-с.309.

А. А. Жигайлов, С. А. Куюков к.т.н., А. Н. Шуваев д.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет
кафедра автомобильные дороги и аэродромы
Россия, г. Тюмень
ksead@tgasu.ru

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТОГРУНТА С ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКОЙ

В работе представлены результаты изучения влияния плотности на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой NTS.

Ключевые слова: цементогрунт, полимерная добавка, коэффициент уплотнения.

Основной целью уплотнения является обеспечение требуемой прочности и долговечности конструкции автомобильной дороги и ее отдельных элементов – земляного полотна и слоев дорожных одежд. Прочность и долговечность конструкций в значительной мере определяется структурой материала, от которой и зависит его уплотняемость [4].

Характеристикой уплотнения цементогрунтовых смесей, оказывающего большое влияние на формирование структуры укрепленного грунта является коэффициент уплотнения. В многофазной структуре цементогрунтов в процессе уплотнения происходят существенные изменения. Твердые частицы смещаются по отношению друг к другу и укладываются более плотно. В единице объема увеличивается их количество, а также количество и площадь контактов между ними. Соответственно уменьшается объем пустот, в первую очередь наиболее крупных, снижается толщина водяных пленок в местах контактов твердых частиц и агрегатов, происходит перераспределение жидкой фазы, уменьшается содержание водяных паров и воздуха. В результате всех этих изменений улучшаются условия для образования кристаллизационной структуры и, в частности, для взаимодействия продуктов гидролиза цемента с поверхностными слоями грунтовых агрегатов, что ведет к их упрочнению. Связи между агрегатами также становятся более прочными. Уменьшение пористости цементогрунта способствует повышению его водо- и морозостойкости [1].

Результаты многочисленных исследований, проведенных Омским филиалом Союздорнии и ТюмГАСУ на севере Тюменской области, показывают высокую эффективность укрепленных грунтов, использованных в дорожных конструкциях автомобильных дорог и аэродромов (1962 г. – Урай, 1968 г. – Нижневартовск, 1972 г. – аэропорт “Надым” и т. д.)

Однако цементогрунты имеют ряд недостатков: низкую морозо- и водостойкость (требует укладки конструктивного слоя в “обойму”); строгое соблюдение технологии и организации производства работ, а также обеспечение непрерывного операционного контроля качества.

Одним из путей устранения этих недостатков является введение поверхностно-активных веществ (ПАВ). ПАВ — химические соединения, которые, концентрируясь на поверхности раздела фаз, вызывают снижение поверхностного натяжения. При снижении поверхностного натяжения величина адсорбции будет увеличиваться. Это означает, что концентрация поглощенного вещества на поверхности раздела фаз будет больше, чем внутри раствора.

Анализируя вышесказанное, целью работы является влияние плотности на прочность цементогрунта с добавкой Nano Terra Soil (NTS) [6].

Для проведения испытаний за основу был взят песок средней крупности [2] со следующими характеристиками: максимальная плотность – 1769 кг/м^3 , оптимальная влажность – $10,76\%$ [3]. Эксперимент включал в себя проектирование 12 составов (испытание 108 образцов цилиндрической формы). Изготовление образцов производилось в форме методом прессования (рис 1).



Рис. 1 - Изготовление образцов на прессе КП-902.

Первые четыре состава были без добавления NTS, последующие восемь с содержанием добавки $12,5\%$ от веса вяжущего [6]. Для получения более достоверной информации о влиянии полимерной добавки на характеристики материала были опробованы 2 партии NTS (NTS-1 и NTS-2). Дозировка цемента – 10% , воды – 8% от веса грунта. Действующие нормативные документы не регламентируют точного значения уплотняющей нагрузки при формовании, приведены только ориентировочные значения $10-15 \text{ МПа}$ [5]. Для выбора оптимальной величины нагрузки формование проводилось на величину – $15, 20, 25, 30 \text{ МПа}$. Испытания образцов проводились на малом прессе ПРГ-1-50 в возрасте $7, 14, 28$ суток (рис 2).



Рис. 2 - Испытание образцов на прессе ПРГ-1-50.

После проведения эксперимента определялись следующие характеристики [5]: прочность при сжатии, плотность и водонасыщение образцов. Результаты испытаний представлены в виде графических зависимостей (рис 3,4).

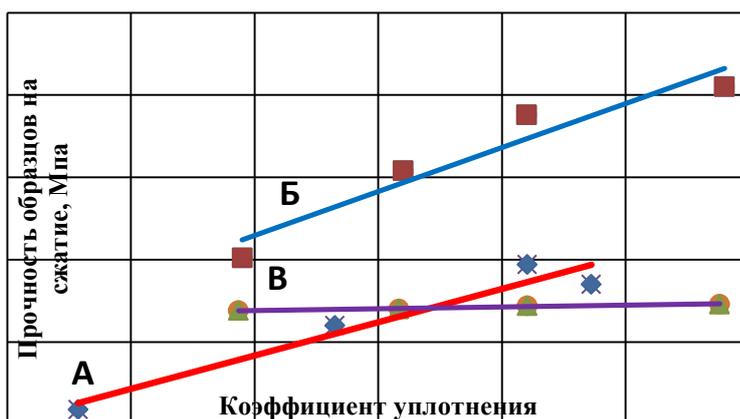


Рис. 3 - Зависимость прочности образцов от коэффициента уплотнения смеси (возраст 28 суток) А – без добавки NTS, Б – с добавкой NTS-1, В – с добавкой NTS-2.

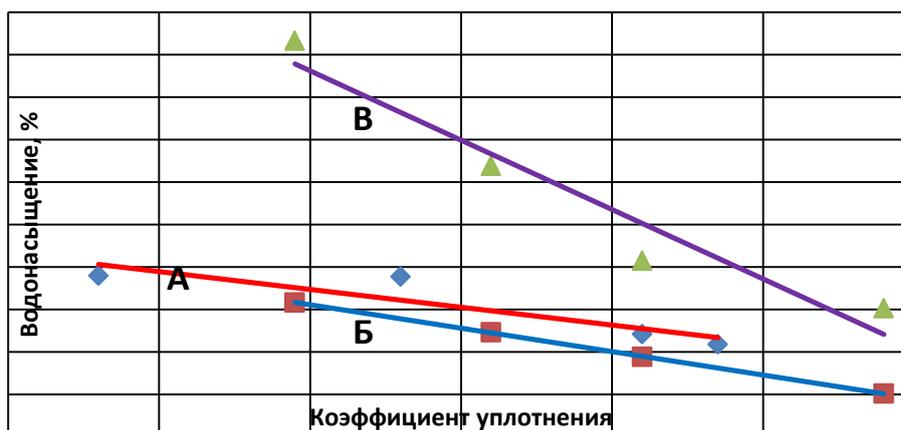


Рис. 4 - Зависимость водонасыщения образцов от коэффициента уплотнения смеси (возраст 28 суток) А – без добавки NTS, Б – с добавкой NTS-1, В – с добавкой NTS-2.

Проанализировав графики видно, что увеличение уплотняющей нагрузки ведет к повышению коэффициента уплотнения смеси и, как следствие, к возрастанию прочности и снижению водонасыщения. При возрастании нагрузки от 15 до 30 МПа прочность образцов при добавлении NTS-1 повышается на 32% (от 2,21 до 3,22 МПа), в свою очередь, водонасыщение снижается на 29% (от 3,53 до 2,51%), в составах без NTS и с добавлением NTS-2 прочность повышается на 41% (от 1,15 до 1,98 МПа) и 2% (от 1,72 до 1,74 МПа) водонасыщение снижается на 20% (от 4,05 до 3,23 %) и 33% (от 6,3 до 3,2 %) соответственно.

Таким образом, в полученных зависимостях для составов 1-8 четко прослеживается взаимосвязь между прочностью, водонасыщением и уплотняющей нагрузкой, однако оптимальной ее величины не было выявлено, что требует продолжения испытаний с ее увеличением.

С учетом проведения дополнительных исследований, полученные зависимости могут быть использованы при обосновании выбора уплотняющей техники при устройстве слоев дорожных одежд из цементогрунтов с полимерными добавками.

Список литературы:

1. Безрук В.М. Укрепление грунтов. – М.: Изд-во Транспорт, 1965. – 340 с.
2. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Госстрой СССР. – М. ЦИТП Госстроя СССР, 1979. - 19 с.
3. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Госстрой РФ. – ФГУП СоюздорНИИ, 2002. - 12 с.
4. Калужский Я.А. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд./ Я.А.Калужский, О.Т. Батраков// М.: Изд-во Транспорт, 1970. 160 с.
5. СН 25-74. Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Госстрой СССР. – М. ЦИТП Госстроя СССР, 1974. - 116 с.
6. Шуваев А.Н. Полимерные добавки при укреплении грунтов минеральными вяжущими./ А.Н. Шуваев, А.А. Жигайлов// Строительный вестник Тюменской области. - 2009.- №.4, с.44-46.

**С. В. Змановский, В. Н. Хмелев д.т.н., С. Н. Цыганок к.т.н.,
А. В. Шалунов к.т.н.**

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
кафедра методов и средств измерений и автоматизации
Россия, г. Бийск
grey@bti.secna.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ

Статья посвящена применению механических колебаний ультразвуковой частоты в технологии получения порошка алюминия. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности ультразвукового воздействия – увеличилось количество мелкодисперсной фракции алюминиевого порошка.

Ключевые слова: ультразвук, распыления металлов, порошковая металлургия, ультразвуковая колебательная система.

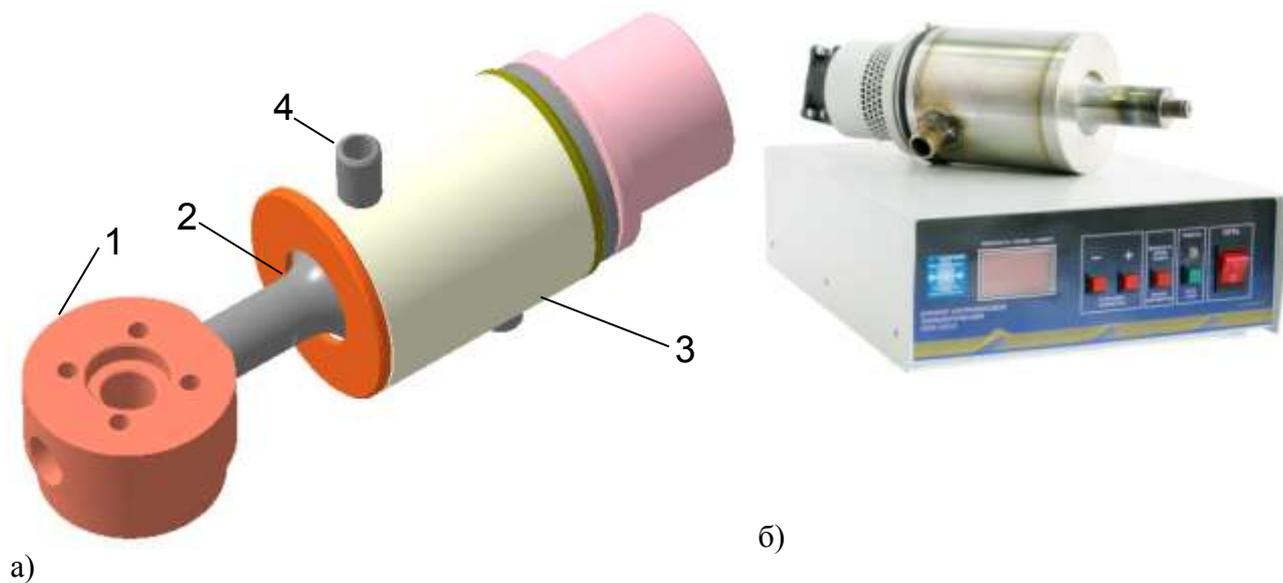
В порошковой металлургии существует несколько способов получения гранулированных порошков из металла: измельчение твердых материалов; измельчение жидких металлов; химико-металлургический метод; электролиз; карбонильный процесс; распыление жидких расплавов металлов ультразвуковыми колебаниями. Ультразвуковой метод диспергирования жидких металлов позволяет получать высокодисперсные порошки, однородные по составу и без посторонних примесей, требуемой формы и др. Для изготовления изделий высокой плотности используют полученные в ультразвуковом поле тонкодисперсные активные порошки, размер частиц которых составляет 0.1 – 2.0 мкм.

Ультразвуковое распыление (гранулирование) расплава можно реализовать путем подведения ультразвуковой энергии или через жидкий металл или через газовую фазу. При реализации первого способа осуществляется распыление металла в тонком слое на колеблющейся поверхности. Такой способ характеризуется высокой степенью однородности получаемых частиц, однако ввиду малости колеблющейся поверхности обеспечить высокую производительность распыления практически невозможно. При реализации второго способа распыления диспергируют струю расплава в специальных распылительных камерах с помощью трубчатых пневмоакустических преобразователей ультразвука, обеспечивая при этом высокую производительностью при меньшей степени однородности [1, 2].

Для повышения эффективности обоих способов было предложено реализовать наложение механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности на корпус распылительной форсунки в процессе газового распыления расплава металлов. Созданная конструкция колебательной системы приведена на рисунке 1, а и представляет собой пьезоэлектрическую колебательную систему, выполненную по классической схеме преобразователя Ланжевена (два пьезоэлектрических элемента между частотно-понижающими накладками) со ступенчато-радиальным концентратором – усилителем ультразвуковых колебаний, соединяемым с распылительной форсункой. Внешний вид разработанного ультразвукового технологического аппарата модели УЗТА-1/22-О показан на рисунке 1, б.

Для исследования эффективности разработанного ультразвукового оборудования были проведены его испытания при реализации процесса производства порошка алюминия на

ООО «СУАЛ-ПМ» г. Шелехов, Иркутская область. Ультразвуковая колебательная система размещалась непосредственно на корпусе форсунки печи pulverизации, как показано на рисунке 2.



1 – распылительная форсунка; 2 – концентратор ультразвуковых колебаний;
3 – охлаждающий объем; 4 – патрубки для отвода охлаждающей жидкости.

Рис. 1 – Конструкция ультразвуковой колебательной системы (а) и ультразвуковое оборудование для воздействия на расплавы металлов (б).



Рис. 2 – Печь pulverизации с установленной ультразвуковой колебательной системой.

Результаты сравнительных экспериментальных данных, отражающие изменение количества получаемого продукта на различных стадиях отбора материала представлены в таблице.

Таблица – Результаты экспериментальных исследований

Полученный продукт, показатели	Ед. изм.	Без ультразвука					С применением УЗТА-1/22-0				
		Выход, %	Выход по фракциям, %				Выход, %	Выход по фракциям, %			
			5 мкм, %	10 мкм, %	d ₁₀ , мкм	d ₅₀ , мкм		5 мкм, %	10 мкм, %	d ₁₀ , мкм	d ₅₀ , мкм
Пulверизат	%	87.9	5.8	18.8	6.8	21.3	82.0	8.2	26.2	5.6	16.5
Циклон 1	%	8.4	14.5	49.8	4.0	10.1	12.0	14.3	51.4	4.4	9.8
Циклон 2	%	1.6	32.4	81.4	2.8	6.4	2.0	39.2	84.9	2.8	5.9
Рук. фильтр	%	2.1	86.4	99.7	0.1	2.6	4.0	85.2	99.9	1.5	3.0
S уд	м ² /г	0.214					0.235				

Из анализа результатов следует, что, удельная поверхность продукта, полученного с применением ультразвукового технологического аппарата УЗТА-1/22-О, несколько выше, чем без ультразвукового воздействия. Гранулометрический состав, определенный методом лазерной дифракции составил:

- при ультразвуковом воздействии: d₁₀= 5.6 мкм, d₅₀= 16.5 мкм;
- без ультразвукового воздействия: d₁₀= 6.8 мкм, d₅₀= 21.3 мкм.

Продукты, полученные в циклонах и рукавных фильтрах пульверизационной установке, работающей в штатном режиме и с применением ультразвукового воздействия, имеют практически одинаковый грансостав. Различия наблюдаются только в выходе продуктов. Особенно эта разница проявляется значительно по продуктам рукавных фильтров, где выход материала (в случае применения ультразвукового воздействия) с удельной поверхностью более 0.6 м²/г почти в 2 раза выше.

На рисунках 3, а и 3, б представлены диаграммы, иллюстрирующие содержание фракций соответственно 5 мкм и 10 мкм в продукции, полученной на пульверизационной установке во время эксперимента.

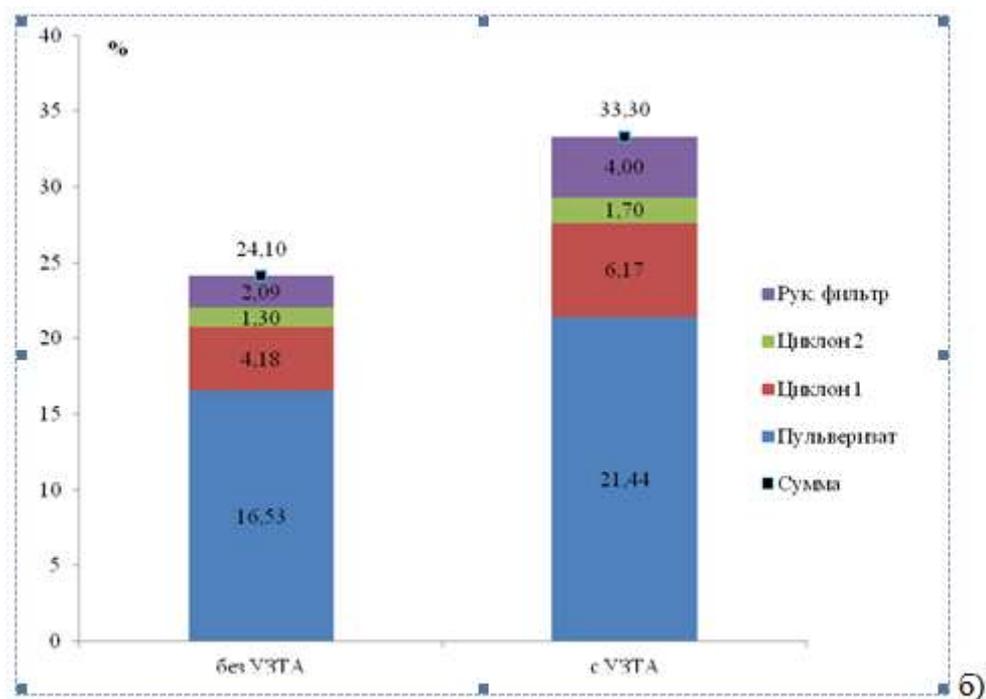
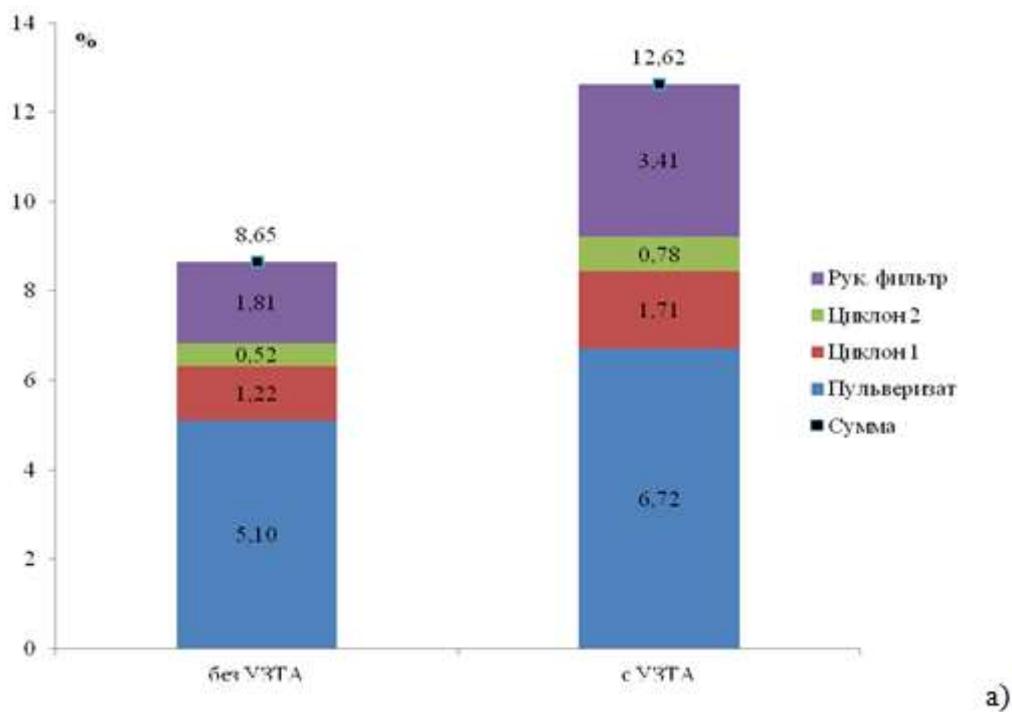


Рис. 3 – Выпуск фракции менее 5 мкм (а) и менее 10 мкм (б) в процентах от перерабатываемого металла.

Суммарный выход мелкодисперсной фракции (в процентах, от переработанного металла) с применением ультразвукового воздействия при распылении увеличился на: 4% для фракции до 5 мкм; 9% для фракции до 10 мкм.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Обеспечение ультразвукового воздействия на корпус распылительной форсунки при помощи технологического аппарата УЗТА-1/22-0 оказывает положительное влияние на гранулометрический состав получаемого мелкодисперсного алюминия.

2. Увеличение содержания мелкодисперсной фракции получаемого материала при применении ультразвукового аппарата УЗТА-1/22-0 позволит увеличить выход фракции с размером частиц до 5 мкм с 8.65 до 12.62 процентов, а частиц с размером до 10 мкм с 24.1 до 33.3 процентов от перерабатываемого металла.

Список литературы:

1. Трефилов В.И. Порошковая металлургия. История. Современное состояние. Перспективы [Текст] / В.И Трефилов, И.Н Францевича – М.: 2006. – 255 с.

2. ООО «Центр ультразвуковых технологий» [Электронный ресурс] / Ультразвуковое распыление металлов и сплавов. Режим доступа: <http://u-sonic.com/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti/39-ultrazvukovoe-raspylenie-metallov-i-splavov>

А. С. Ильин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
кафедра «Техника высоких напряжений»
Россия, г. Екатеринбург
ale-ilyin@yandex.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАШЕНИЯ ДУГИ В ЭЛЕГАЗОВОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С РЕАЛЬНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

В статье изложена новая методика расчета процессов в дугогасительном устройстве элегазового высоковольтного выключателя, приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных. Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов показало их удовлетворительное совпадение, что позволяет сократить объем экспериментальных исследований при разработке коммутационной аппаратуры.

Ключевые слова: электрическая дуга; элегазовый выключатель высокого напряжения; гашение дуги; моделирование процесса.

В настоящее время при увеличении потребляемой мощности от энергосистемы резко возросла необходимость расширять техническую базу таких энергосистем. На сегодняшний день в эксплуатации находится более 50% изношенного сетевого оборудования различных классов напряжения и большая часть из них требует немедленной замены.

Наиболее важными являются вопросы, связанные с методиками оценки коммутационной способности проектируемого выключателя. Сложности возникают при попытке описать данный процесс с физической точки зрения, так как процессы коммутации представляют собой некий узел физико-химических и термо-газодинамических процессов, взаимодействующих с электродинамическими явлениями. Сложность расчета заключается не только в том, что процесс гашения дуги в элегазе (SF_6) включает в себя 19 химических компонентов и более 60 реакций с ними, но и в том, что процессы дугообразования и ионизации являются вероятностными.

Основная цель работы заключается в создании математической модели расчета процесса дугогашения, учитывающей геометрическую конфигурацию дугогасительной камеры и численная реализация модели на ЭВМ в виде программы. СИГРЭ продолжает рассмотрение процессов оптимизации моделирования системы уравнений Майера и Кассии, применительно к созданию новых дугогасительных устройств. Так в [1] рассмотрено численное решение уравнений, применительно к процессам отключения токов нагруженной линии. В [2] описывается моделирование процесса коммутации методом «Черного ящика», и еще раз подчеркивается неотрывность расчетов и проведения испытаний. В прошлом так же существовало множество подобных моделей [3] отличающихся в основном по способу определения параметров элементов матрицы, такой подход приводит к решению дифференциальных уравнений, связывающих газотермодинамику с электрическими процессами. Эта связь выражается в системах уравнений. Логично разделить расчет газотермодинамических процессов, влияющих на сопротивление дугогасительного промежутка, расчет процессов после гашения дуги. Первая часть расчетов (газотермодинамические) представлена известными уравнениями Навье-Стокса [4]. В [5] делаются попытки решить эту систему уравнений, вводя коэффициенты, доопределяющие параметры турбулентности и соотношение подводимой энергии к дуге и конвективно

отводимой. Еще один случай решения уравнений Навье-Стокса представляется переходом к тензорам при решении методом крупных частиц, описанных О.М. Белоцерковским и Ю.М. Давыдовым в [6]. Кроме того, в описанных моделях [7] все параметры дугогасящей среды вводятся в форме коэффициентов, записываемых в безразмерных формах, что представляется более сложным, чем графический ввод параметров.

В данной работе ставится задача создания модели, позволяющей установить успешность гашения дуги конкретным дугогасительным устройством. Искомой функцией является энергия газа, определяемая по параметрам, рассчитанным при рассмотрении газотермодинамических процессов, с дальнейшим определением проводимости, картина скоростей и температур газа. Исходными параметрами являются физико-химические свойства плазмообразующего газа (в модели рассматривается Элегаз), выраженные в виде графиков зависимостей физических свойств от различных физических величин (описаны далее), геометрическая конфигурация дугогасительного устройства, выраженная графически, воздействующее значение и форма ПВН в случае гашения, выраженная графически. Такой подход позволяет облегчить ввод параметров среды, сделав его графическим, получить в результате наглядную картину, совмещающую термогазодинамику и сам процесс гашения дуги, что не позволяли до этого другие модели [8].

Таким образом, впервые обоснован и разработан новый метод пошагово-расширяющихся ячеек столба дуги для анализа процесса дугогашения с учетом параметров электрической цепи и геометрии дугогасительной камеры; разработана математическая модель процесса гашения дуги; получен результат анализа отключения и неотключения тока короткого замыкания 30 кА (режим не удаленного короткого замыкания); проведено определение максимальной коммутационной способности дугогасительного устройства элегазового выключателя; впервые получена методика расчета параметров физического состояния дугогасительной камеры в различных процессах течения гашения дуги за счет динамического расширения ячеек с переносом физических параметров; впервые получена цифровая программа графического анализа процессов дугогашения, с выводом графического интерактивного результата; разработан графический вывод процесса гашения дуги, который позволяет увидеть эффективность воздействия газового потока, распределение температуры, распределение массы газа по продольному сечению осесимметричной дугогасительной камеры в динамике, облегчая исследование термодинамических процессов дугогашения; разработанная математическая модель позволяет изучать явление взаимодействия плазмы дуги с газовым потоком.

Рассмотрение данной модели следует начать с газодинамической части. Оригинальность ее заключается в принципиально другой математической аппроксимации поведения объемных сегментов среды дугогасительного устройства. Если представить осесимметричную дугогасительную камеру в разрезе и предположить, что все процессы будут происходить симметрично, таким образом, перейдя от трехмерной модели к двумерной (от объемных сегментов – к ячейкам), то можно рассмотреть плоскость, на которой выделены эти мельчайшие квадратные ячейки, при этом параметры задавать для полученной ячейки, то мы получим набор малых плоскостей с одинаковыми площадями. В каждой такой малой плоскости задаются начальные параметры: масса M , температура T , начальная скорость V_0 , плотность ρ , проводимость σ в момент времени t . Принимая во внимание радиальное увеличение сегментов в объемной модели, увеличивается их масса пропорционально объему, в данной модели, при переходе к плоскости, данное обстоятельство учитывается ростом теплоемкости и массы в зависимости от расстояния от оси симметрии. Принимая во внимание все исходные данные и вводимые параметры тока и напряжения, решается система уравнений (1), описывающая в упрощенном виде взаимодействие малых объемов. После чего параметры каждой ячейки будем считать определенными, и сами ячейки будут ограничены равными по длине сторонами.

В следующем шаге модели будет эффект «расширения» ячеек с заданной скоростью V и скоростью звука \vec{a} – как показано на Рис.1, выражающийся в массопереносе части газа ячейки с определенными ниже параметрами. Таким образом, каждая ячейка совершает обмен импульсами, оказывая влияние на соседнюю ячейку своими параметрами.

$$\begin{aligned}
 a &= \sqrt{\frac{\gamma k T}{m_2}}, \\
 dQ_d - dQ_c &= d(W_2 \cdot m_2) + p dV, \\
 dQ_c &= C_p T \cdot m_2 dt, \quad dQ_d = k \cdot U_d \cdot I_d dt, \\
 \Delta W_2 &= P_1 V_1 - P_2 V_2, \quad W_2 = C_V T, \quad m_2 = \frac{pV}{R_2 T}
 \end{aligned} \tag{1}$$

где k – постоянная Больцмана, γ – постоянная адиабаты, T – температура, m – масса газа, Q_c – энергия, отводимая конвективно, Q_d – энергия, подводимая дугой, W_2 – внутренняя энергия газа, V – объем газа, C_p – теплоемкость газа при постоянном давлении, T – температура газа, R – универсальная газовая постоянная, C_V – объемная теплоемкость, P – давление газа.

Для определения описанного выше массопереноса газа и обмена импульсами, рассмотрим заданную квадратную сетку газа со сторонами boxsize в момент времени t_0 , когда произошло определение параметров газа по уравнениям (1) для ячейки $i;j$ с соответствующей площадью S :

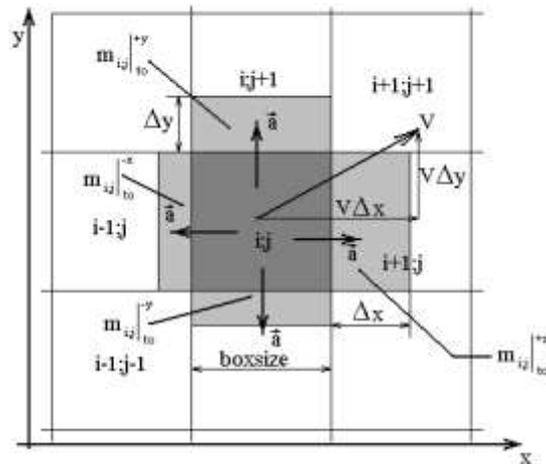


Рис.1. К расчету массопереноса ячеек.

предположив, что вектор скорости сегмента направлен вправо, как указано на Рис.1. после чего запишем выражение для вычисления массы $m_{i;j} \Big|_{t_0+\Delta t}^{+x}$, части газа при массопереносе:

$$m_{i;j} \Big|_{t_0+\Delta t}^{+x} = \frac{S_{i;j} \Big|_{t_0}^{+x} \cdot m_{i;j} \Big|_{t_0}^{+x}}{\text{boxsize}^2}. \tag{2}$$

Таким образом, масса газа, оставшегося в данной ячейке, будет вычисляться по выражению:

$$M_{i;j} \Big|_{t_0+\Delta t} = M_{i;j} \Big|_{t_0} - \sum_{i,j} m_{i;j} \Big|_{t_0}^{\pm(x,y)}. \tag{3}$$

Выражение скорости, соответствующее уравнению сохранения импульса:

$$V_{i;j} \Big|_{t_0+\Delta t} = \frac{\left(V_{i+1;j} \Big|_{t_0} \cdot M_{i+1;j} \Big|_{t_0} + V_{i;j} \Big|_{t_0} \cdot m_{i;j} \Big|_{t_0+\Delta t} \right)}{M_{i+1;j} \Big|_{t_0} + m_{i;j} \Big|_{t_0+\Delta t}}. \quad (4)$$

Уравнения (2, 3, 4) являются основными уравнениями, описывающими взаимодействие между ячейками посредством массопереноса и обмена импульсами.

В общем виде уравнение передачи массы в декартовых координатах представляется уравнением неразрывности (сплошности) потока:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x} (\rho \cdot u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \cdot v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho \cdot w) = 0, \quad (5)$$

где ρ – плотность газа; u, v, w – скорости по осям.

Часть энергии, отведенную конвективно, газовым потоком, можно определить по выражению:

$$U_k = c_p \cdot \rho \cdot \Delta T + c_p \cdot \rho \cdot \Delta U \frac{dT}{dr}, \quad (6)$$

где c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении; ρ – плотность газа; T – температура газа; U – энергия, выделенная в створе.

Дополнить данную систему необходимо уравнениями электродинамики и законом Ома. Для этого определяется Джоулева энергия, выделяющаяся на дуге (W_d) из выражения:

$$W_d = \sigma_s \cdot E^2 - \frac{4\lambda T_0}{R_d^2} - P_{изл}, \quad (7)$$

где σ_s – проводимость среды при заданных условиях; λ – теплопроводность; R_d – радиус дуги (или текущий радиус ячейки, как координата); T_0 – начальная температура; $P_{изл}$ – энергия, затраченная на излучение.

Данное уравнение можно записать выражением обобщенного закона Ома

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} - \frac{1}{\rho_{e1}} \vec{j} \times \vec{B}) + \rho_u \vec{v}, \quad (8)$$

где $\rho_{e1} = n_{e1} e$ – плотность зарядов электронов, ρ_u – избыточный электрический заряд дугоразрядной плазмы.

Тогда уравнение энергии примет вид:

$$c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + c_p \cdot \rho \cdot u \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \sigma_s E^2 + \frac{\partial}{\partial y} \left(y \cdot \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) - P_{изл}, \quad (9)$$

Где c_p – теплоемкость элегаза при постоянном давлении, ρ – плотность элегаза в ячейке, u – скорость в данном месте, T – температура в ячейке, σ_s – электропроводность элегаза в ячейке, λ – коэффициент теплопроводности элегаза в ячейке, $P_{изл}$ – мощность, затраченная дугой на излучение, x, y – координаты, t – время шага, принятый 100 нс, E – напряженность электрического поля.

Уравнение (9) подтверждает второе начало термодинамики и в общем виде можно выразить уравнением баланса количества движения (импульса):

$$-F \frac{d}{dx} p = M \frac{d}{dx} w + \Pi \cdot \tau_0 + F \cdot g \cdot \rho \cdot \sin(\beta), \quad (10)$$

где: w – скорость; ρ – плотность; F – площадь поперечного сечения канала; Π – периметр канала, граничащий с другой средой; τ_0 – касательное напряжение на стенке (напряжение трения на стенке); β – угол наклона канала к горизонту; Q – количество подводимой теплоты; A – механическая работа, производимая средой; i – энтальпия; x –

расстояние в направлении движения; M – удельный массовый расход (массовая скорость); g – ускорение свободного падения.

Таким образом, система уравнений (5,8-10) описывает процессы поведения газа в замкнутой области при воздействии температуры и скорости.

В процессе численного моделирования процесса определяются основные параметры каждой ячейки, энергия газа ячейки, что служит новым начальным условием для следующего шага. Проверяется выполнение критерия пробоя. Мощность дуги, рассеянная за счет излучения, вводится коэффициентом излучения в процентах от мощности энергии дуги. Ее значение можно выбрать в соответствии с результатами опытов, отмеченными в работах авторов, например в [9]. После достижения температуры диссоциации элегаза, его плотность падает до минимума и при дальнейшем повышении температуры элегаз разлагается. Таким образом, полностью отражается физическая картина снижения концентрации частиц элегаза и разложения элегаза на компоненты по мере приближения к стволу дуги.

Применяя полученный метод от шага к шагу на всем временном интервале, были проведены расчеты дугогасительного устройства реального элегазового бакового выключателя на устойчивость к тепловому пробую. Данные вычисления были реализованы в рамках созданной программы в среде программирования Delphi 3.0 [10]. Результатом является графическая динамическая интерактивная диаграмма, по которой можно определить значения температуры, тока, напряжения в каждый расчетный шаг времени, а так же проводимость газа – искомую величину. Полученные данные заносились в таблицу Excel и рассчитывались графики процесса гашения дуги, которые и сравнивались с осциллограммами реальных испытаний из протоколов испытаний.

Приведем результат расчета процесса гашения дуги при номинальном токе отключения 40кА выключателем типа ВГТ 110, Для моделирования этого процесса выбиралось рабочее давление элегаза, равное 0,4 МПа; в качестве критического сопротивления $R_{кр}$ принята величина, равная $18Mом$, дугогасительная камера с гашением дуги по принципу автогенерации от выключателя типа ВГТ-110. В результате получили полуволну отключаемого тока на рисунке 2. Максимальное значение тока пост-дуги составило -2,76кА, время горения дуги при этом составило 17,6 мс, измеренное по осциллограмме испытания это время составляет 16 мс.

Далее ставилась задача определить максимальную коммутационную способность по току отключения выключателя, имеющего такую же конструкцию дугогасительного устройства. Методом последовательного приближения были выбраны значения токов отключения 60кА, 50кА, при которых расчеты показали не успешное гашение. Далее было принято значение 45кА, при котором было получено успешное отключение, однако, значение тока пост-дуги в этом случае составило -5кА. При значениях тока отключения 47кА и 46кА было получено не успешное гашение.

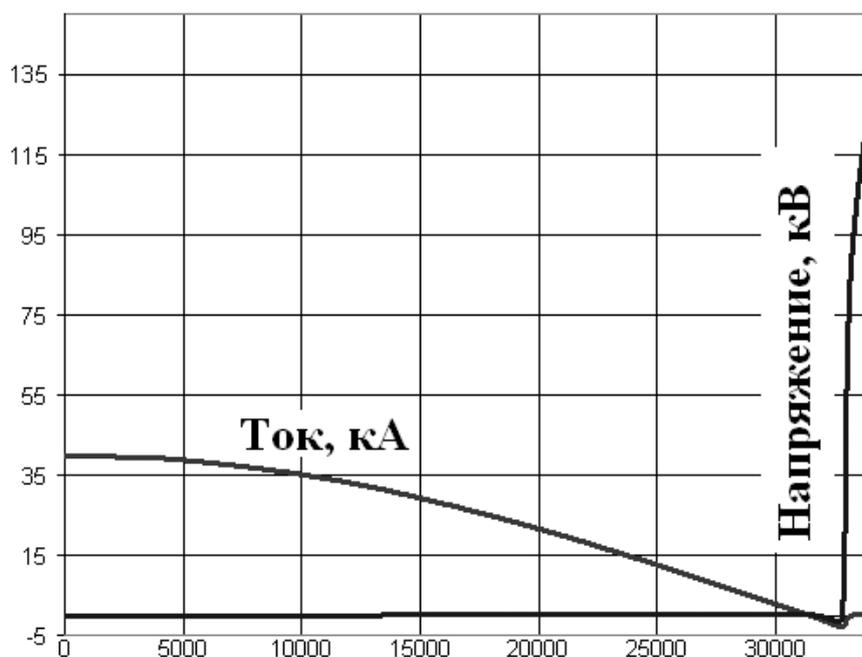


Рис.2. Последняя полуволна отключаемого тока и начальная фаза ПВН.

Таким образом, максимальный ток отключения данного выключателя, рассчитанный по программе, определен, и он равен 45кА.

Выводы. Разработанная программа позволяет спрогнозировать коммутационный процесс для дугогасительного устройства, заданной геометрии и оценить эффективность самого гасителя. Для расчета других режимов гашения или другой геометрической конфигурации камеры необходимо делать перерасчет начальных параметров, заводимых в программу описанных в начале статьи. Учитывая большое количество вероятностных явлений в дуговых процессах, можно утверждать, что применение математического моделирования процессов дугогашения не исключает необходимость проведения экспериментальных исследований, что показано так же в [2], однако данные, получаемые в процессе моделирования, значительно облегчают работу исследователя, сокращают число экспериментов, и помогают анализировать полученные результаты, корректируя вводимые данные и физическую модель, сокращают число дорогостоящих экспериментов.

Список литературы:

1. Публикация СИГРЭ №47 Line-charging current switching of HV lines. Stresses and testing (Часть 1 и 2), рабочая группа 13.04, Октябрь, 1996 г.
2. Публикация СИГРЭ №135 State of the art of circuit-breaker modeling, рабочая группа 13.01 комитета 13, Декабрь, 1998 г.
3. *Дородницын А.А.* Об одном методе численного решения нелинейных задач аэрогидродинамики., Труды III Всесоюзного и математического съезда т.3, М., АН СССР, 1958г., с 447-453.
4. *Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М. и др.* Механика жидкости и газа., М. ИКЦ «Академкнига» 2003 г., 464 стр.
5. *Бородянский Г.А.* О возможных приближенных уравнениях течения в канале газового потока, обдувающего дуговой разряд, в сб. «Конвекция в каналах», Минск, ИТМО, АН СССР, 1971г., с 106-116.
6. *Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М.* Метод крупных частиц в газовой динамике., Москва, Наука, 1982. стр. 370.
7. *Georges Bernard* Breaking by auto-expansion, E/CT, Cahier Technique Merlin Gerin №171, 1995, Гренобль, стр.1-16
8. *ред. Ю.И. Вишневого* Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией., СПб. Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2002.-728с.
9. *Hermann W., Kogelschatz U., Ragaller K., Shade E.* Investigation of cylindrical, axially blown, high-pressure arc, J.Phys.D: Appl.Phys. 1974г., том 7., стр. 607-619
10. *Ильин А.С.*, Программа моделирования термогазодинамических процессов гашения дуги в дугогасительной камере заданной геометрии, применительно к высоковольтной аппаратуре (Программа моделирования процессов дугогашения), Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ № 2006612254 от 30 июня 2006 года.

Б. Р. Исакулов к.т.н.

Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе
mr.baizak@mail

МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ПОРИЗОВАННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ И РАЗЛИЧНЫХ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯХ

В работе рассматриваются методики испытаний ползучести поризованных легких бетонов при длительном нагружении и различных сжимающих напряжениях. Определены значения меры ползучести при различном уровне напряжениях.

Ключевые слова: бетон, ползучесть, поризованный арболит, деформация

Нами проведены экспериментальные исследования поризованного арболита плотностью до 650 кг/м^3 при длительном нагружении и различных сжимающих напряжениях с целью применения этого материала в строительстве республик Средней Азии и Казахстана.

Экспериментальные исследования проводили на образцах в 28 дневном возрасте из поризованного арболита, где в качестве органической составляющей использовали стебли хлопчатника.

Исследуемые образцы пароизолировались с целью исключения наложения процесса усадки на процесс ползучести.

Образцы всех проведенных опытов представляли собой легкобетонные призмы сечением 150×150 мм и длиной 600 мм. Одна часть образцов была выполнена из поризованного арболита, где в качестве органического заполнителя использовали фибру стеблей хлопчатника, вторая часть – для сравнения – из поризованного керамзитобетона. Боковые поверхности призм изолировали от влагопотерь, по торцам призм устанавливали перфорированные стальные плитки для передачи нагрузки, таким образом, удаление влаги из образцов-призм могло происходить только через торцы.

Известные из литературных источников исследования ползучести бетона [1,2,3] приводились непароизолированных образцах. Поэтому процесс усадки накладывается на процесс ползучести, что осложняло анализ опытных данных, к тому же напряженное состояние бетона оказывает непосредственное влияние на его усадку.

В данных опытах все испытываемое на длительную нагрузку образцы изолировали путем обмазки боковых поверхностей толстым слоем жидкого парафина с марлевой прокладкой. Измерение усадки призм показали достаточную эффективность такой изоляции.

При длительных испытаниях постоянную нагрузку на образцы создавали с помощью специально изготовленных пружинных установок (рис. 1).

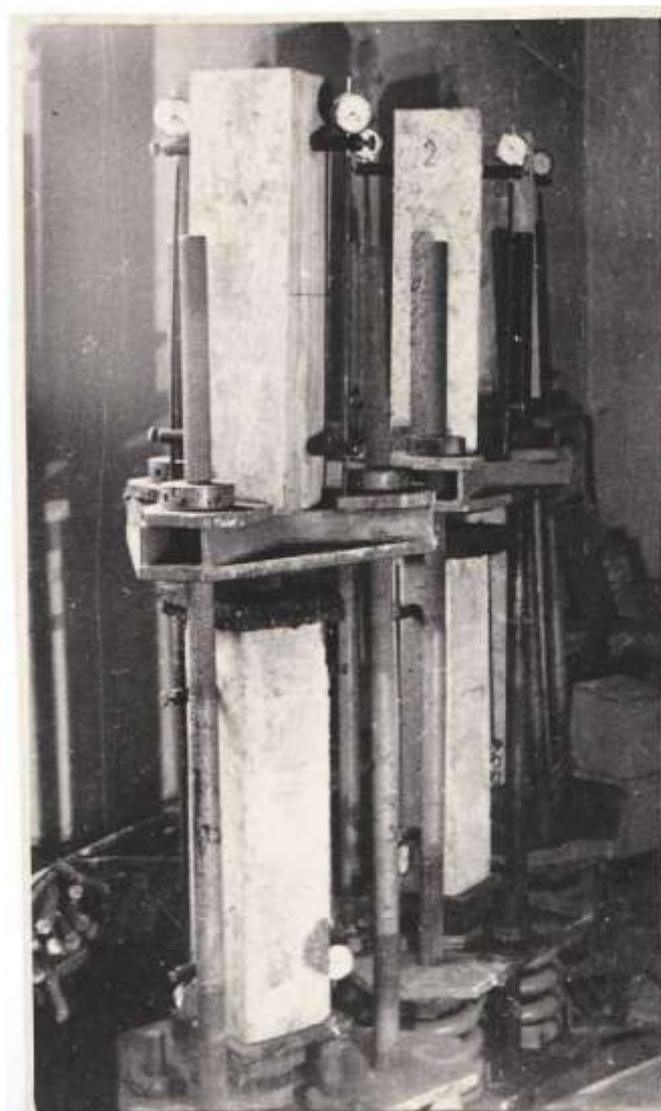


Рис.1. Испытания образцов под длительной нагрузкой.

Величина максимальной нагрузки была ограничена (60-120 кН), что определялось предельным уравнением загрузки образцов, равным $0,75R_b$. Всего было испытано три основных серии из поризованного арболита и три серии из поризованного керамзитобетона. Каждая серия включала 9 призм-образцов. Поскольку ползучесть поризованного керамзитобетона, как показали исследования НИИЖБ, вызывается, в основном, ползучестью геля, входящего в состав цементного камня, то предполагалось, что эти закономерности можно будет распространить и на поризованный арболит.

В опытах были применены белитовые портландцементы Навоинского завода, активностью 43,0 МПа. Условный коэффициент (К), определенный по формуле профессора А.Е. Шейкина [4,5], для характеристики относительного содержания кристаллических и коллоидных продуктов гидратации цемента Навоинского завода численно равен 0,23.

Для изготовления контрольных образцов серий применяли молотый керамзитовый песок, техническую пену приготавливали путем пропуска щелочного пенообразователя через установку.

Состав поризованного арболита и керамзитобетона для изготовления опытных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Состав поризованных бетонов испытываемых образцов-призм

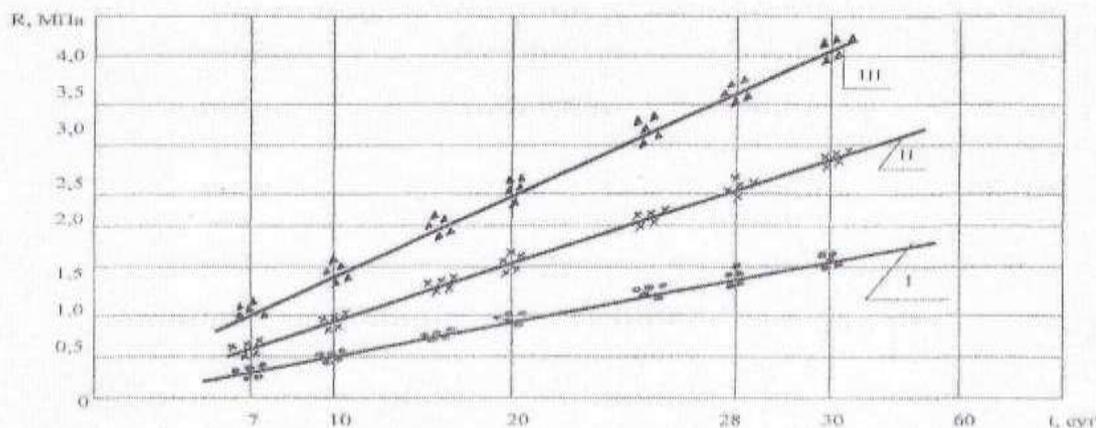
№ серий образцов-призм	Состав бетона (по весу)	Водоцементное отношение	Расход цемента на 1м ³ бетона в кг
1. Поризованный арболит			
1	1:0,8:0,8	1,34	220
2	1:0,9:0,8	1,37	230
3	1:0,85:0,75	1,4	240
2. Поризованный керамзитобетон			
4	1:2:2,5	0,97	220
5	1:2:2,3	1,2	230
6	1:2: 2,5	1,1	240

Относительная влажность воздуха помещения, в котором испытывали призмы на длительную нагрузку, колеблясь от 60 до 75% при температуре воздуха от +15 до +20⁰С.

Нагружение образцов-призм производилось этапами, соответствующими приращению напряжения от 0,1 до 0,15 МПа. После каждой ступени нагрузки образцы выдерживали в течение пяти минут. Отсчеты по индикаторам (с точностью измерения 0,01мм) брались после приложения каждой ступени нагрузки и перед приложением новой ступени. Такая методика испытаний позволяла выделить упругие мгновенные деформации и определить величину начального модуля упругости легких бетонов.

Одновременно с измерением деформаций образцов, установленных под длительную нагрузку, производили измерение деформаций незагруженных изолированных и неизолированных от влагопотерь образцов. Деформаций ползучести определяли вычитанием из общих деформаций загруженных образцов усадочных деформаций, измеренных на незагруженных и изолированных от влагопотерь образцах. Благодаря наличию пароизоляции, деформации усадки образцов значительны.

Одновременно с изготовлением призм для каждой серии испытаний из того же состава легких поризованных бетонов в стальных формах бетонировали до 72 контрольных кубов со стороной 150мм, которые хранились вместе с призмами и испытывались в разные сроки. Данные этих испытаний позволили построить кривые нарастания прочности поризованных легких бетонов во времени (рис. 2 - 3).



O - серия I,

x - серия II,

▲ - серия III

Рис.2. Кривые нарастания прочности поризованного арболита для I-III серий.

Как следует из приведенных кривых, наблюдавшееся нарастание прочности поризованных легких бетонов во времени в ряде случаев нельзя описать одной логарифмической зависимостью, в раннем возрасте закономерность оказывается иной, чем в последующий период.

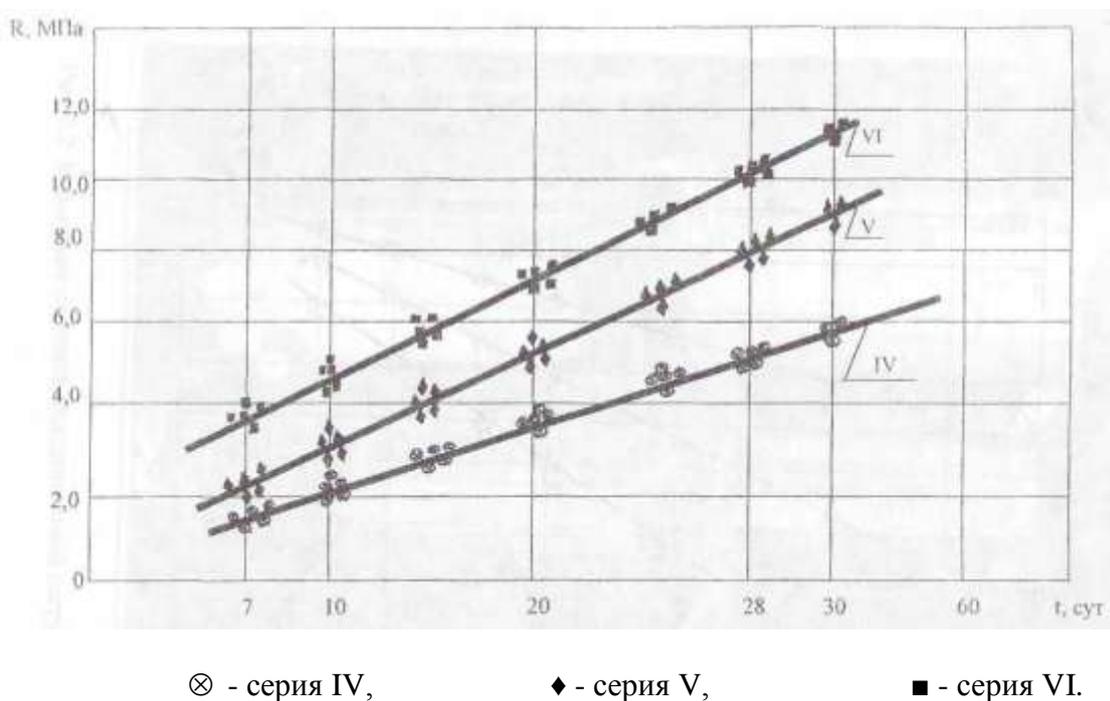


Рис. 3. Кривые нарастания прочности поризованного керамзитобетона для IV - VI серий.

Загружение призм-образцов осуществляли при уровнях напряжений $0,15R_{bn}$, $0,44 R_{bn}$ и $0,74 R_{bn}$. В каждой серии состоящей из девяти призм-образцов, первые три были изолированы от влагопотерь и устанавливались под длительную нагрузку, вторые три образца были также изолированы, но оставались без нагрузки, наконец, оставшиеся три образца были не изолированы и загрузке не подвергались. По окончании экспериментальных исследований их использовали для определения осевой прочности бетонов на сжатие и анализа механизма разрушения поризованного легкого бетона.

Исследования на призмах показали, что деформации, возникающие при приложении нагрузки, растут ей пропорционально и отклонения от этой закономерности для поризованных легких бетонов наблюдались только при высоких сжимающих напряжениях.

Для тяжелого бетона различными исследователями были получены формулы, связывающие величину модуля упруго-мгновенной деформации E и кубиковую прочность бетона. По полученным нами данными эти формулы можно распространить и на поризованные легкие бетоны, однако, для возраста свыше 28 дней:

$$E = 550000R_{bn} / (187 + R_{bn}) \quad (1)$$

где R_{bn} - прочность поризованного легкого бетона на сжатие.

Модуль упруго-мгновенной деформации поризованных легких бетонов определяли по наклону к оси абсцисс прямой зависимости упругой мгновенной деформации от напряжений, которые не превышали $0,6 R_{bn}$. При этом скорость загрузки образцов во всех сериях опытов была одинаковой. Данные этих испытаний приведены в таблице 2.

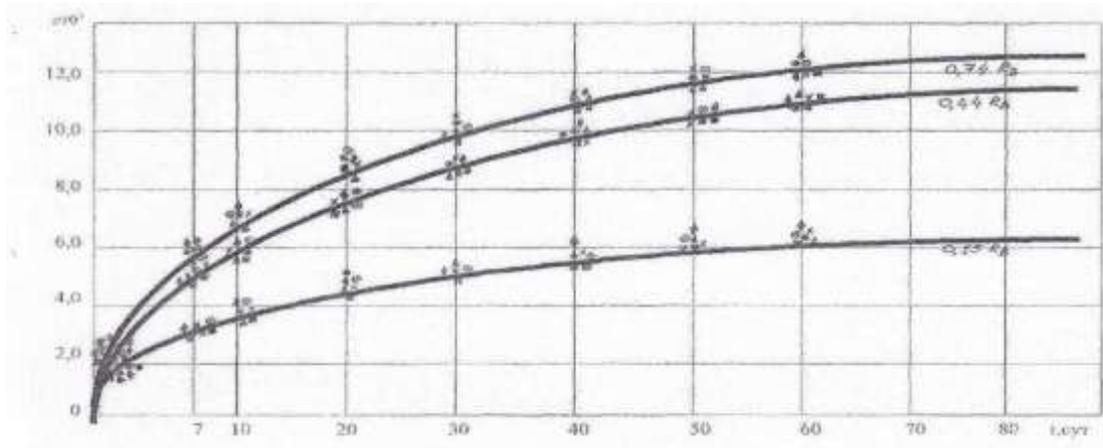
Таблица 2.

Результаты испытаний призм из поризованного арболита и керамзитобетона во время загрузки и разгрузки

Серии призм - образцов	Возраст образцов в сутках	Величина действующего напряжения σ_x МПа		Предел прочности поризованного арболита в МПа			Предел прочности керамзитобетона в МПа		
		Поризов. арболит	Пориз. керамзитоб.	R7	Rbn	σ_x / Rbn	R7	Rbn	σ_x / Rbn
1	28	0,21		0,4	1,4	0,21			
2	28	1,2		0,8	2,6	0,192			
3	28	2,8		0,9	3,8	0,184			
4	30		0,8				1,4	5,3	0,188
5	30		3,6				2,1	8,1	0,24
6	28		7,8				3,5	10,5	0,29

Анализ роста деформаций призм во времени указывает на некоторые отклонения от закономерности. Деформация призм, загруженные при уровне напряжений $0,15 R_{bn}$ из поризованного арболита росли медленней, чем такие же деформации, но загруженные при более высоких уровнях напряжений.

В образцах из поризованного керамзитобетона таких отклонений не наблюдалось. Это, по-видимому, объясняется большой неоднородностью поризованного бетона, приготовленного на стеблях хлопчатника. Для обоих видов бетонов деформации ползучести достигли со временем величины, превышающие упругие деформации в 2-3 раза. Во всех образцах наблюдалось быстрое нарастание деформаций ползучести период после загрузки, затем нарастание деформаций постепенно замедляется.



■ - серия I; ▲ - серия II; ◆ - серия III; ○ - серия IV; x - серия V; ⊗ - серия VI

Рис. 4. График деформации ползучести поризованного арболита во времени.

Таким образом, скорость нарастания деформаций ползучести во времени зависит не только от уровня напряжений, но и от того, сколько времени прошло с момента загрузки (рис.4).

Для поризованных легких бетонов, как показали наши испытания, скорость роста деформаций ползучести зависит от кривой нарастания прочности во времени, отражающей процесс твердения бетона.

В таблице 3 даны значения меры ползучести полученные при испытании призм на ползучесть при различном уровне нагружения. Здесь же помещены значения меры ползучести, взятой из работы Яшина А.В. [6] и вычисленные по формуле:

$$C(t,t_1) = (1 + K/t_1)[B_1(1 - e^{-1/\gamma_1(t-t_1)}) + B_2(1 - e^{-1/\gamma_2(t-t_1)}) + A_1e^{-1/\alpha_1 t_1} - A_1e^{-1/\alpha_1 t}] \quad (2)$$

Таблица 3.

Значение меры ползучести поризованного арболита и керамзитобетона с $C(t, t_1) \cdot 10^7$ по опытными данным и формуле (2)

Уровень напряжения образцов	0,15R _{bn}	0,44R _{bn}	0,74R _{bn}
1.Поризованный арболит	$\frac{7,2}{7,0}$	$\frac{7,0}{6,8}$	$\frac{6,5}{6,2}$
	$\frac{9,6}{9,3}$	$\frac{9,1}{8,9}$	$\frac{8,8}{8,5}$

Примечание: в числителе - опытными данными; в знаменателе - по формуле 2.

Таким образом, по сравнению с поризованными легкими бетонами ползучести поризованного арболита оказывается значительно ниже, что в итоге приводит к снижению деформаций ползучести при одном и том же уровне напряжений.

Список литературы:

1. Саталкин А.В. Ползучесть бетона. Сб. «Прочность, упругость и ползучесть бетона» под ред. Н.М. Беляева. Стройиздат, 1941.-с.186.
2. Скрябин И.Е. Ползучесть и усадка железобетонных конструкций. Сб. трудов МИСИ, Стройиздат, 1948-с.256.
3. Улицкий И.И. Ползучесть бетона. Гостехиздат УССР, 1948.-с.189.
4. Шейкин А. Е., Агомогланов Р. Ш. Прочность, деформативность и долговечность бетона транспортных сооружений. — Сб. РИЛЕМ. М., Стройиздат, 1976.
5. Шейкин А.Е. О причинах непостоянства вида функций $R_g=f(B/C)$. Труды IV Всесоюзной конференции по бетону и железобетонным конструкциям. М., Стройиздат, 1949-с.149.
6. Яшин А.В. Ползучесть бетона в раннем возрасте // Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций// Труды института НИИЖБ, вып.4, М.:1959-18-с.74.

А. В. Казбеков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»
кафедра «Информационные технологии»
Россия, г. Москва
a.kazbekov@gmail.com

ГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИММЕТРИИ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В статье рассмотрены два метода определения симметрии объектов на цифровых изображениях, использующие информацию о величине и направлении вектор-градиента.

Ключевые слова: вектор-градиент, симметрия, контур, распознавание образов.

Обнаружение факта симметричности и нахождение осей симметрии изображений зачастую играет важную роль в решении задач распознавания образов [1]. Значительная часть объектов распознавания либо строго симметричны, либо близки к симметричным [5]. Примерами являются многие природные объекты, элементы городской инфраструктуры, детали машин и механизмов. Все эти предметы симметричны, т.е. их изображение содержит воображаемую линию, относительно которой правая часть картинка является зеркальным отображением левой. Одной из основных задач распознавания изображений является выделение и идентификация некоего объекта, включенного в рассматриваемую сцену. В этом случае, необходимо обладать некоторым априорным знанием о форме распознаваемого объекта. Симметричность – пример качественного признака, отличающего распознаваемый объект от остальных элементов сцены.

Заключение о симметричности объекта, как правило, делается исходя из информации о его контуре или контурах областей, на которые рассматриваемый объект может быть разбит. В этой статье рассмотрены два подхода к решению задачи определения осей симметрии для зеркально-симметричных объектов.

ПОНЯТИЕ ГРАДИЕНТА

Яркость каждого пикселя изображения определяется, в первую очередь, освещенностью конкретной области объекта, к которой относится этот пиксель. Допустим, что тени и другие помехи не оказывают существенного влияния на распределение яркостей внутри рассматриваемой сцены, т.е. сцена освещена равномерно.

Пусть изображение задано функцией вида $I(x, y)$. Тогда вектор-градиент $[I_x, I_y]^T$ определяется следующим образом:

$$I_x = \frac{\partial I(x, y)}{\partial x}, \quad I_y = \frac{\partial I(x, y)}{\partial y};$$

Направление вектор-градиента: $\psi = \arctan(I_y / I_x)$

Значение и направление вектор-градиента определяется для каждой точки изображения. Эти данные являются исходными для методов, рассматриваемых в данной статье.

ГИСТОГРАММНЫЙ МЕТОД

На основе полученной информации строится гистограмма направлений вектор-градиента. Очевидно, что для симметричного изображения, получаемая таким образом

гистограмма, также должна иметь четко различимую ось симметрии (Рис. 1). Полученную гистограмму можно считать периодической функцией $h(\theta) = h(\theta \pm 2n\pi)$ $n = 0, 1, 2, \dots$, где $h(\theta)$ - гистограмма направления вектор-градиента исходного изображения.

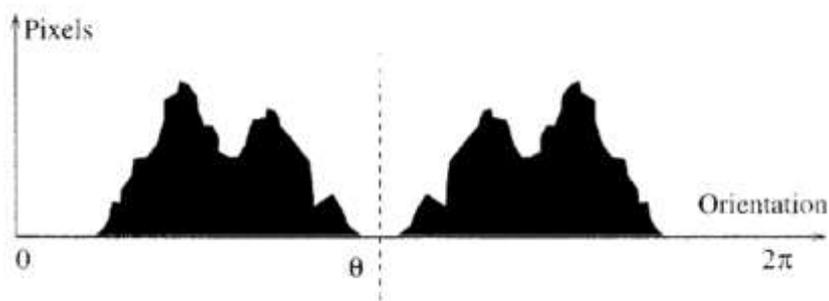


Рис. 1 - Гистограмма направлений вектор-градиента для симметричного изображения.

Для нахождения направления оси симметрии, в работе [3] предлагается использовать окно шириной 2π с центром в точке x . Внутри окна вычисляется значение функции:

$$c(x) = \int_{\theta=0}^{\pi} h(x + \theta)h(x - \theta)d\theta$$

Направлением является такое значение x , при котором функция $c(x)$ принимает максимальное значение. Существенным ограничением подобного подхода является невозможность определения нескольких предполагаемых осей. На практике, интеграл аппроксимируется суммой значений гистограммы $h(i)$. По-сути, предложенный подход позволяет определить наибольшую корреляцию между двумя сегментами гистограммы.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОСИ СИММЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА

Первым шагом данного метода является выделение контуров на рассматриваемом изображении. В работе [1] для этой цели используется алгоритм Canny. Каждая пара пикселей i и j , принадлежащих границе, "голосует" за определенную пару значений γ и θ в частотном пространстве Хафа. Для точек, в которых вектор градиента не симметричен относительно предлагаемой оси симметрии, вводится весовая функция. Точки i и j изображены на Рис. 2.

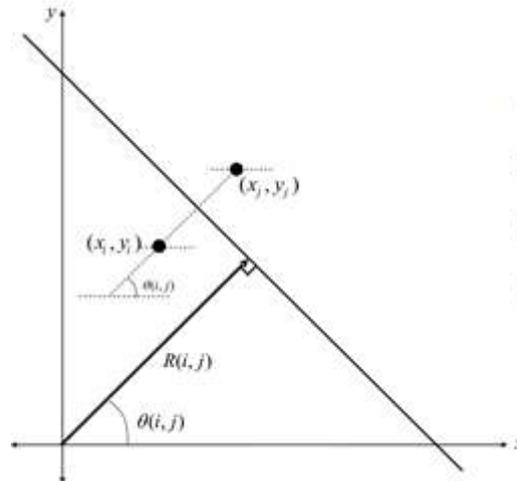


Рис. 2 – Пара голосующих точек.

Для повышения разрешающей способности метода, центр системы координат должен совпадать с центром изображения. Для вычисления угла θ используется следующее выражение:

$$\theta(i, j) = \arctan\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right);$$

$$-\frac{\pi}{2} < \theta(i, j) \leq \frac{\pi}{2}.$$

Радиус $R(i, j)$ определяется следующим образом:

$$R(i, j) = \left(\frac{x_i + x_j}{2}\right) \cos[\theta(i, j)] + \left(\frac{y_i + y_j}{2}\right) \sin[\theta(i, j)];$$

Множество Γ_f является набором, состоящем из пар точек, принадлежащих контуру изображения, и имеющих общие значения r и θ .

$$\Gamma_f(r, \theta) = \{(i, j) \mid R(i, j) = r, \theta(i, j) = \theta\};$$

С целью уменьшения влияния "посторонних" точек (т.е. точек с несимметрично ориентированными градиентами) используется процедура "взвешенного" голосования:

$$H(r, \theta) = \sum_{i, j \in \Gamma_f(r, \theta)} W(i, j),$$

$$\text{где } W(i, j) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\psi_i - \psi_j)^2}{2\sigma^2}}.$$

Гауссовская весовая функция принимает максимальное значение, когда векторы градиента в обеих точках направлены симметрично относительно середины соединяющего их отрезка. На Рис. 3 показано изменение весового коэффициента (значения весовой функции) в зависимости от направления вектор-градиента.

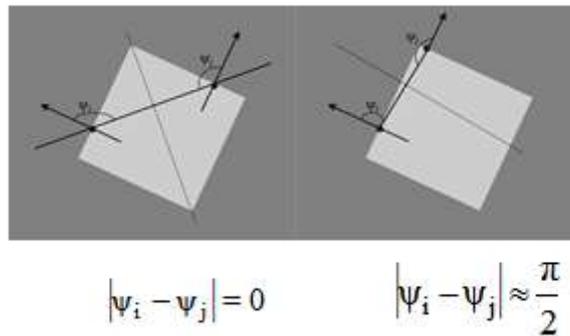


Рис. 2 - Изменение весового коэффициента в зависимости от направления вектор-градиента.

Когда углы ψ_i , ψ_j равны, значение весовой функции максимально. Если $|\psi_i - \psi_j| = \frac{\pi}{2}$, между точками не существует никакой симметрии. Для вычисления значений градиента используются горизонтальный и вертикальный фильтры Собеля. Параметр σ используется для регулирования "чувствительности" весовой функции. Малые значения параметра лишают веса точки со "слабым" отношением симметричности и наоборот, с увеличением σ , вес точек, не обладающих строгой симметрией векторов градиента, увеличивается.

Пространство Хафа разбивается на ячейки, которые содержат количество проголосовавших за конкретный набор γ и θ пикселей исходного изображения.

Следующим этапом является локализация пиковых значений среди всех точек фазового пространства. Очевидно, что пара значений γ и θ , получившая наибольшее количество голосов, определяет положение наиболее вероятной оси симметрии.

Список литературы:

1. *Wai Ho Li, Alan M. Zhang, Lindsay Kleema*, Fast Global Reflectional Symmetry Detection for Robotic Grasping and Visual Tracking, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, June 2004, 678-679.
2. *Dinggang Shen, Horace H.S., Kent K.T. Cheung, Eam Khwang Teoh*, Symmetry Detection by Generalized Complex Moments: A Close-Form Solution, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, N5, May 2002.
3. *Sun C. D.Si*, Fast Reflectional Symmetry Detection Using Orientational Histograms, Real-Time Imaging 5, 63-74, 1999.
4. *Hugo Cornelius, Michael Perdoch, Jiri Matas, Gareth Loy*, Efficient Symmetry Detection Using Local Affine Frames, Stockholm, Proc. Fourth Int'l Conf. Computer Vision, 258-263.
5. *H. Wely*, Symmetry, Princeton Univ. Press, 1952.
6. *Sun C.* Symmetry Detection Using Gradient Information, Pattern Recognition Letters, vol. 16 987-996, 1995.

Б. В. Казбеков, Н. А. Максимов к.т.н., И. С. Пуртов, Д. П. Синча

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»
кафедра «Информационные технологии»
Россия, г. Москва
k308@mai.ru

ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БЛА НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье описаны основные этапы работы алгоритма локализации местоположения беспилотного летательного аппарата (БЛА), основанного на анализе ключевых признаков изображения и их дальнейшей обработке. Представлены результаты работы алгоритма поиска изображения в графической базе данных, представляющей собой набор тестовых снимков, полученных с борта БЛА.

Ключевые слова: ключевые признаки изображения, SIFT, SOM, кластеризация, локализация местоположения БЛА.

Задача локализации местоположения БЛА на основе распознавания фотографий подстилающей поверхности может быть сформулирована следующим образом: в качестве начальных данных задается тестовое изображение, полученное с борта БЛА, при этом существует графическая база данных (фотографий местности возможного расположения БЛА), каждый снимок которой имеет четкую координатную привязку.

Подающееся на вход системы изображение может быть искажено одним или несколькими следующими факторами:

- групповые помехи произвольной формы и размера,
- поворот или сдвиг,
- нелинейное изменение яркости,
- изменение разрешения или изменение масштаба,
- кадрирование/ декадрирование,
- зеркальное отображение.

Необходимо найти соответствие между тестовым снимком местности расположения БЛА и снимками, хранящимися в базе данных и определить текущие координаты БЛА на основе полученной информации.

Вследствие наличия искажающих факторов необходимо разрабатывать алгоритм выделения таких признаков изображения, каждый из которых будет малочувствителен хотя бы к одному из рассматриваемых факторов. По этой же причине разрабатываемые признаки изображения должны, по крайней мере, слабо коррелировать, а лучше, если они будут иметь слабую статистическую взаимосвязь.

Необходимо учитывать, что признаковое распознавание изображений может оказаться весьма ресурсоемким из-за необходимости вычисления большого количества признаков и их последующего сравнения. Однако при наличии перспективных искажений или сложных типов изменчивости объектов на изображениях альтернативу признаковым методам найти затруднительно.

Для отображения изображения в дескриптор мы используем модель представления изображения, называемую сумка визуальных слов [1]. Для того чтобы представить изображение множеством (сумкой) визуальных слов необходимо обнаружить на

изображении точки интереса (признаки изображения), описать эти точки, а далее заменить фактические описания визуальными словами, используя словарь визуальных слов. Последний получают посредством кластеризации множества описаний точек интереса всех входных изображений.

В качестве алгоритма поиска характерных признаков изображения был выбран алгоритм SIFT, который включает в себя, и алгоритм обнаружения, и алгоритм описания. В качестве точек интереса, обнаруживаемых SIFT-детектором выступают так называемые “пятна” (blobs). Говоря нестрого, пятно – эта область изображения, которая ярче/темнее, чем её окружение. SIFT-описание пятна (SIFT-дескриптор) обладает привлекательными свойствами, определившими его использование нами. Во-первых, он инвариантен (достаточно устойчив) к повороту, переносу и изменению масштаба изображения, т.е. почти к полной группе аффинных преобразований. По мнению некоторых авторов [2] никаких существенных улучшений SIFT-дескриптора с точки зрения повышения устойчивости к указанным преобразованиям никогда не будет. Во-вторых, он устойчив к изменению освещения сцены. В-третьих, он, устойчив к смене ракурса – вплоть до 60° , если исходное изображение фронтальное (для БЛА – снято в надир). В-четвертых, SIFT-дескриптор характеризуется высокой информационной ёмкостью. Также, по сравнению с другими существующими дескрипторами, он более устойчив к размытию изображения (которое может возникнуть, например, вследствие неверной фокусировки камеры БЛА).

Результаты работы SIFT-детектора, как и многих других существующих, неудовлетворительны для малоcontrastных изображений. Поэтому каждое изображение, поступающее на вход разработанной системы, проходит этап предварительной обработки, на котором повышается его контрастность.

Кроме того после повышения контрастности для каждого изображения формируется несколько его копий, подвергнутых фиксированному набору различных аффинных преобразований (используется алгоритм ASIFT). Таким образом мы получаем как бы несколько возможных фотографий данного «места» с разных точек обзора. Это существенно расширяет возможности стандартного SIFT-алгоритма.

Общее (полученное по всем изображениям) многомерное облако подвергается PCA преобразованию [3] – отображается в 119-мерное пространство главных компонент – с последующей его сферизацией (в другой терминологии – отбеливанием). Высокая размерность нового признакового пространства обусловлена высокой информационной ёмкостью исходных SIFT-дескрипторов. Сферизация облака (нормировка данных на единичную дисперсию) необходима вследствие задания в новом пространстве евклидовой метрики.

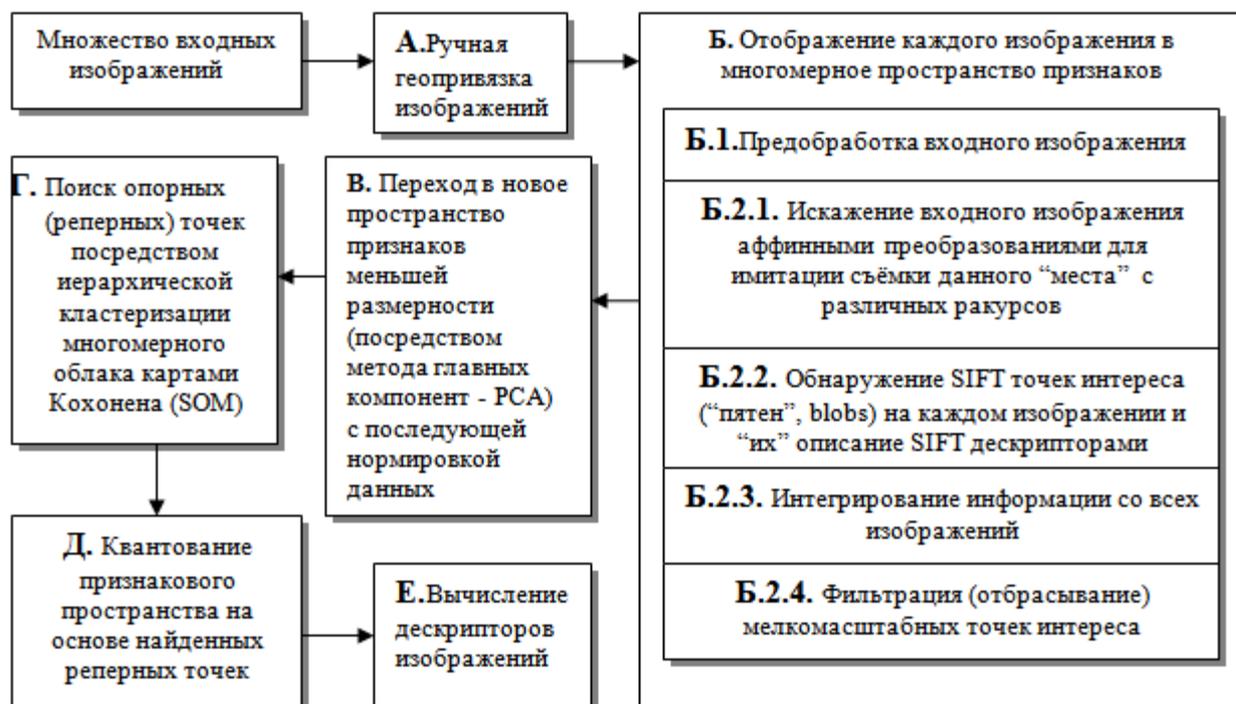
В результате каждое изображение из набора входных изображений представляет собой множество 119-мерных векторов. Для отображения этих векторов в визуальные слова необходимо создать словарь этих слов. Словарь создаётся посредством кластеризации (сферизованного) многомерного облака. Результатом кластеризации является набор кластеров, каждый из которых и есть искомое визуальное слово [1]. Кластер обычно (хотя и не обязательно) описывают его центром масс. В данной работе мы придерживаемся именно такого подхода. Под отображением вектора в визуальное слово понимается его замена ближайшим (по евклидовой метрике) визуальным словом.

В ходе работы над проектом проводились эксперименты с двумя наиболее популярными алгоритмами кластеризации – алгоритмом K-средних и алгоритмом кластеризации на основе самоорганизующихся карт Кохонена (SOM-кластеризация). Согласно экспериментальным данным, алгоритм K-средних не даёт требуемого для решения поставленной задачи разбиения многомерного облака, которое может быть достигнуто только иерархической (снизу-вверх) SOM-кластеризацией. Достаточный уровень иерархии – 3.

Основными критериями разбиения является взаимное расположение точек в многомерном пространстве – требуется, чтобы расстояние между выделенными группами точек было как можно большим, в то время как расстояние между точками в каждой группе должно быть минимальным.

Дескриптор каждого изображения вычисляется, как среднее (по сумке) всех визуальных слов, взвешенных с tf-idf коэффициентами. Вес tf-idf есть произведение двух членов – tf (term frequency) и idf (inverse document frequency). Для произвольного визуального слова член tf есть частота появления данного слова на изображении; член df есть частота появления изображения, содержащего данное слово, в множестве всех рассматриваемых изображений; член idf есть логарифм величины, обратной к df. Если визуальное слово “характерно” для изображения – оно получает больший tf-idf вес, если оно является “типичным” – меньший.

На схеме представлен алгоритм работы системы в режиме обучения.



Локализация БЛА (оценка его географических координат) осуществляется на основе текущего изображения подстилающей поверхности (изображения-запроса) и рабочей БД изображений. Алгоритм работы системы состоит из следующих этапов:

- Вычисление дескриптора изображения-запроса;
- Расчет оценки степени сходства двух дескрипторов посредством нормированного скалярного произведения. Выбор данной “метрики” обусловлен возможностью достаточно быстрого её вычисления – при объёме рабочей БД вплоть до 10^6 изображений, поиск наиболее схожего изображения запрашиваемому может происходить в режиме реального времени [4].
- Находятся соответствующие точки (интереса) на изображении-запросе и изображении-результате распознавания, становится возможным оценить текущие географические координаты БЛА, так как все изображения рабочей БД геопривязаны.

Заключение

В ходе работы проведен анализ современного состояния и тенденций развития методов и алгоритмов анализа и оценки видеоданных для решения схожих задач. Проанализированы известные алгоритмы, позволяющие распознавать и выбирать из базы данных изображений

наиболее похожие на предъявленное, реализованы новые алгоритмы, позволяющие повысить эффективность отдельных операций технологического цикла обработки и интерпретации изображений.

Список литературы:

1. *Lutsiv V.R., Malyshev I.A., Pepelka V., Potapov A.S.* Target independent algorithms for description and structural matching of aerospace photographs // Proc. SPIE. 2002. V. 4741. P. 351–362
2. *Popescu A., Moëllic P.-A.* An ontology driven image retrieval system. // Proc. 6th ACM Int. conf. on Image and Video Retrieval. 2007. P. 113–116.
3. *Hörster E., Lienhart R., Slaney M.* Image retrieval on large-scale image databases // Proc. 6th ACM int. conf. on Image and Video Retrieval, CIVR 2007. 2007. P. 17–24.
4. *Rares A., Reinders M.J.T., Hendriks E.A.* Image interpretation systems // Technical Report (MCCWS 2.1.1.3.C), MCCWS project, Information and Communication Theory Group. TU Delft. 1999. P. 32.

В. И. Калашников д.т.н., А. В. Хвастунов, В. Л. Хвастунов д.т.н.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, г. Пенза
techbeton@pguas.ru

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИГРОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ БЕТОНОВ И ФИБРОБЕТОНОВ С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА НА ЕДИНИЦУ ПРОЧНОСТИ

В статье содержится комплекс физико-механических и гигрометрических свойств высокоэффективных порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низкими удельными расходами цемента на единицу прочности в пределах 2,5-5,0 кг/МПа, с максимальным использованием в их составе местных тонкозернистых кварцевых песков фракции 0,14-0,63 мм и техногенных отходов металлургической, энергетической, горно-обогатительной промышленности. Такие бетоны разработаны впервые в России и соответствуют или даже превосходят по показателям зарубежные аналоги.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, структура, плотность, деформации, пористость, водопоглощение, усадка, ползучесть, тонкозернистый песок, каменная мука, гиперпластификатор.

В проекте долгосрочной стратегии развития производства строительных материалов, изделий и конструкций на период до 2020г., составленного структурами Минрегионразвития РФ [6] в качестве системной проблемы производства и потребления стройматериалов в Российской Федерации принят наметившийся дисбаланс между растущими объемами потребления стройматериалов и объемами их производства из-за ряда факторов, в том числе высокого уровня физического износа основных фондов, низкой производительности труда, значительной зависимостью от цен на продукцию и услуги монополий (РАО «ЕЭС России», РАО «Газпром», ОАО «РЖД») и др.

По одному из критериев разрешения этой проблемы, прогнозируемого ликвидацию дефицита на рынке основных строительных материалов, Стратегией предусматривается достижение уровня производства к 2020г.: цемента – 194 млн.т., сборных железобетонных изделий и конструкций – 104 млн.м³, нерудных строительных материалов – 1,38 млрд. м³ и др., для чего до 2020г. необходимо ввести дополнительных производственных мощностей по выпуску цемента – 143 млн.т., сборных железобетонных изделий и конструкций – 79 млн. м³, нерудных строительных материалов – 1,23 млрд. м³ [6]. От наличия этих основных материалов, изделий и конструкций зависит возможность увеличения объемов строительства, в том числе и жилищного. Для достижения указанных целей Стратегией предусмотрено решение нескольких задач [6], в том числе увеличение объемов использования вторичных ресурсов и крупнотоннажных отходов смежных отраслей промышленности при производстве строительных материалов, а также создание новых энергоресурсосберегающих, экономически эффективных и экологически безопасных производств.

Проводимые на кафедре «Технология бетонов, керамики и вяжущих» Пензенского ГУАС [2, 3, 4, 5, 7] многолетние исследования показали, что при рациональном использовании отходов (отсевов дробления, каменной муки, шлаков, микрокремнеземов, зол

и т.д.) и местных материалов, особенно тонкозернистых кварцевых песков фракции 0,14-0,63 мм при наличии современных отечественных и зарубежных супер-, гиперпластификаторов (С-3, Хидетал 9γ, Melflux 1641; 2651; 5581; Sika Viska Creto и др.) можно не только их утилизировать в производстве бетонных и железобетонных изделий, но и создать многокомпонентные порошково-активированные бетоны различных видов: низкомарочные, средних марок, высокопрочные и особовысокопрочные нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности [2, 3, 4, 5].

В производстве высокопрочных бетонов старого поколения использовались большие расходы цемента 8-12 кг/МПа, жесткие бетонные смеси и интенсивные способы уплотнения. По нашему мнению, при формировании составов бетонов старого поколения не использовались основные положения о физико-химической механике, реологии водно-дисперсных систем и химических процессов взаимодействия гидролизной извести с тонкими частицами микронаполнителя. В них не используются возможности предельного разжижения высококонцентрированных дисперсных систем, не учитывалось положение о том, что реологическая активность крупнозернистого песка и щебня в цементном бетоне отсутствует. Нашими исследованиями показано, что в составе бетонных щебеночных смесей необходима тонкодисперсная реологическая матрица при ее высоком содержании в объеме смеси, что может значительно снизить вязкость и предел текучести смесей. Высокая реологическая активность в присутствии супер- и гиперпластификаторов достигается только при использовании микродисперсных добавок, например, каменной муки из кварцевого песка и других горных пород, усиливающаяся при добавлении тонкого песка. Можно сказать, что порошкообразные наполнители являются реологически-активными добавками в смеси с цементно-водной пластифицированной дисперсией. Кроме этого активизация связана с реакцией взаимодействия порошкообразных микрометрических наполнителей с гидролизной известью, что способствует дополнительному получению в структуре бетона цементирующего вещества в виде прочных гидросиликатов. Для изготовления порошково-активированных бетонных смесей и образцов использовались следующие исходные компоненты: портландцемент М500Д0 в количестве 400 кг/м³, гранитный щебень фракции 5-10 мм в количестве 860 кг/м³, тонкозернистый и крупнозернистый кварцевые пески фракции от 0,14 до 5 мм, молотый кварцевый песок, молотую горную породу или микрокремнезем, гиперпластификатор Melflux 2651 (0,9% по массе от цемента), стальную волнистую фибру диаметром 0,3 мм и длиной 15 мм в количестве от 1 до 1,5 % по объему, воду затворения в количестве 130 л/м³. Осадка конуса бетонной смеси составляла 14-18 см, а фибробетонной – 12-16 см.

Проведение экспериментов по изучению физико-механических и гигрометрических свойств бетона и фибробетона осуществляли в соответствии с действующими стандартами Российской Федерации: характеристики вяжущих и цементов – по ГОСТ 310.1-76...ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81, водопоглощение и показатели пористости – по ГОСТ 12730.3-78 и ГОСТ 12730.4-78, прочность – по ГОСТ 10180-91; призмную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона – по ГОСТ 24452-80, усадку и ползучесть – по ГОСТ 24544-81*, вязкость разрушения при статическом нагружении – по ГОСТ 29167-91. Для определения показателей бетона и фибробетона, приведенных в таблице 1, использовали как стандартные методики и установки, так и специально разработанные [7].

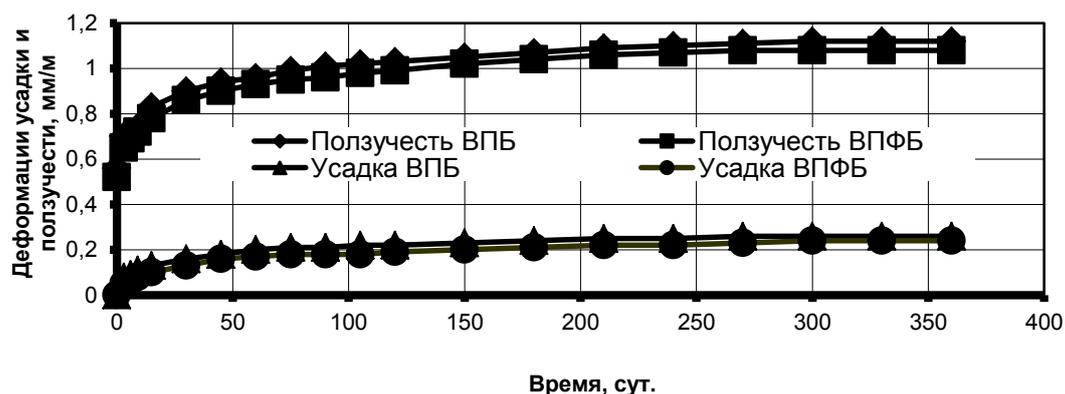


Рис.1 Графики усадки и ползучести высокопрочного бетона и фибробетона.

Таблица 1

Физико-механические и гигрометрические характеристики высокопрочных порошково-активированных щебеночных бетонов

№ п,п	Наименование показателей	Обозначение	Ед.изм.	Бетон	
				ВПБ	ВПФБ
1	Плотность бетонов	ρ, D	кг/м ³	2400-2500	2400-2500
2	Прочность при осевом сжатии	R_B	МПа	114,8	125,1
3	Прочность при осевом растяжении	$R_{Bt, n}$	МПа	4,6	6,3
4	Соотношение $R_B / R_{Bt, n}$	-	б/р	24,9	19,9
5	Прочность на растяжение при изгибе	$R_{Bt, u}$	МПа	11,0	16,2
6	Прочность при срезе	$R_{Bt, c}$	МПа	7,41	37,19
7	Предельная сжимаемость	$\epsilon_{BO, n}$	мм/м	1,23	1,17
8	Предельная растяжимость	$\epsilon_{Bto, n}$	мм/м	0,11	0,12
9	Модуль деформации	E_{Bn}	МПа	49254	46316
10	Коэффициент Пуассона	ϵ	б/р	0,146	0,121
11	Трещиностойкость по методу кольца	-	сутки	540	540
12	Усадка бетонов (540 суток)	$\epsilon_{shr(B)}$	мм/м	0,22	0,26
13	Ползучесть бетона (540 суток)	ϵ_{cr}	мм/м	0,30	0,32
14	Условный критический коэффициент интенсивности напряжений	K_{IC}^*	МПа·м ^{0,5}	0,965	1,414
15	Водопоглощение по массе в 28-суточном возрасте	W	%	2,1-2,5	2,1-2,5
16	Сцепление арматуры с бетоном	F_c	МПа	13,34	22,13
17	Сопротивление продавливанию	-	%	100	135
18	Удельный расход цемента	$\Pi_{уд}$	кг/МПа	3,48	3,20
19	Параметры пористости	λ, α	б/р	0,11; 0,35	0,11; 0,35
20	Ударная вязкость	-	Дж/м ²	$8,82 \cdot 10^5$	$39,2 \cdot 10^5$

Учёт длительных деформаций усадки и ползучести бетонов важен при решении многих задач проектирования бетонных и железобетонных конструкций. Длительные процессы, протекающие в бетоне, следует учитывать при определении трещиностойкости и жесткости конструкций, оценке длительной несущей способности. Во всех приведенных случаях необходимо располагать конкретными значениями параметров усадки и ползучести, отвечающими видам применяемых бетонов, технологии изготовления конструкций и условиям их эксплуатации. Такие исследования особенно актуальны в современный период, когда в строительстве начали широко применяться высокопрочные бетоны и фибробетоны марки 1000 и более.

Испытания для определения деформаций усадки и ползучести проводили в пружинных установках на образцах 100×100×400 мм в помещении лаборатории, в котором температура воздуха изменялась в пределах 18-22°C, а относительная влажность – в пределах 55-65%.

Напряжение в образце от внешней нагрузки составляло 0,3 от призмочной прочности по ГОСТ 24452-80, установленной перед началом испытаний. Отсчет показаний приборов (индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм) на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести производили непосредственно после загрузки, затем через 1 час, через сутки, 3, 7, 14, еженедельно в течении 6 недель, один раз в 2 недели в течении 10 недель, а далее в течении 540 суток испытаний один раз в 4 недели.

Относительные деформации ползучести каждого образца бетона и фибробетона $\varepsilon_{in}(t)$ вычисляли по формуле (2) ГОСТ 24554-81. Количественные значения деформаций усадки и ползучести бетона и фибробетона, приведенные на рисунке 1 и в таблице 1, свидетельствуют о низких значениях усадки и ползучести в течение длительного времени наблюдения (360 и 540 суток). Разрушение бетонных и фибробетонных призм размером 100×100×400 мм при осевом сжатии происходило с разрушением щебня из гранита, что свидетельствовало о хорошем сцеплении реологически и гранулометрически подобранной матрицы цементно-песчаного раствора с зернами крупного заполнителя. Как видно из таблицы 1, введение в порошок-активированные бетонные смеси стальной фибры в количестве 1,2% способствовало значительному улучшению многих физико-механических характеристик высокопрочного бетона, особенно прочности при осевом растяжении, при изгибе, при срезе, ударной вязкости [1] и др.

Список литературы:

1. Баженов Ю.М., Мохов В.Н., Бабков В.В. Количественная характеристика ударной выносливости цементных бетонов. «Бетон и железобетон», 2006, №1, с.2-5.
2. Калашников В.И., Ананьев С.В., Хвастунов В.Л., Мороз М.Н. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности // Вестник отделения строительных наук. Выпуск 14. Т.2. Москва-Иваново. 2010. С.27-32.
3. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. №10. 2008. С 4-6.
4. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетона. // Строительные материалы. 2008. - №3. - С. 20-22.
5. Калашников В.И. Перспективы использования реакционно-порошковых сухих бетонных смесей в строительстве. // Строительные материалы. 2009. - №7. - С. 59-61.
6. Коляда С.В. Перспективы развития производства строительных материалов в России до 2020 г. // Строительные материалы. №7. 2008. С 4-7.
7. Хвастунов А.В. Повышение эксплуатационных свойств бетонных плит различного назначения. // Строительные материалы. 2008. - №10. - С. 17-19.

В. Ю. Кара-Ушанов д.ф.-м.н., С. П. Кудрявцева

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
физико-технологический институт, кафедра вычислительной техники
Россия, г. Екатеринбург
v.kara-ushanov@mail.ru

РЕИНЖИНИРИНГ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

В работе выполнен структурный анализ бизнес-процессов контроля качества продукции на предприятии. По результатам анализа произведен реинжиниринг действующей системы контроля качества. Создана база данных о продукте и параметрах технологического процесса, а также OLAP-система для многомерного анализа показателей качества готовой продукции.

Ключевые слова: хризотил-асбест, функциональное моделирование, реинжиниринг, система управления качеством, база данных, OLAP-система.

Продуктом производства для Асбестообогатительной фабрики ОАО «УралАсбест» является асбест хризотилковый. Правила приемки хризотил-асбеста основаны на ГОСТ Р 52997 – 2008. В соответствии с ГОСТом, хризотил принимают партиями. Партией считают количество хризотила одной марки, изготовленного по одной и той же технологической документации и оформленное документом о качестве (сертификатом).

У каждой марки есть свой перечень показателей, соответствие которым необходимо определить в ходе взятия проб. Каждый показатель качества нормируется, с целью выяснения, соответствует ли продукт сертификату качества. Контроль качества асбеста осуществляется по 30 показателям.

Пробы выработанного асбеста проводятся ежедневно и ежесменно, множество раз в день. Группы лаборантов работают по сменам, проводя анализ качества в лаборатории с помощью специального оборудования. Каждой партии хризотила присваивается уникальный номер.

Согласно ГОСТ Р 52997 – 2008, партию хризотила принимают, если она по всем контролируемым параметрам соответствует нормативной документации или условиям договора. При несоответствии результатов испытаний хотя бы по одному показателю проводят повторные испытания по этому показателю по удвоенной выборке, взятой из той же партии хризотила. В случае повторной неудачи всю партию переводят в более низкую марку, которой она фактически соответствует.

Вопрос качества продукции актуален для каждого предприятия, потому что это вопрос экономии материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Система анализа качества готовой продукции позволяет руководителям предприятия получать своевременную и достоверную информацию о произведенной продукции и о ходе технологического процесса. Наличие такой системы предусмотрено для предприятия в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 9001-2008 «Системы менеджмента качества. Требования».

Действовавшая на предприятии «УралАсбест» автоматизированная система контроля качества продукции не удовлетворяла современным требованиям. На решение этой проблемы и была нацелена данная работа.

Прежде всего, был выполнен анализа бизнес-процессов для предметной области, которая в нашем случае представлена технологическими и управленческими аспектами

функционирования Асбестообогатительной фабрики с точки зрения начальника отдела технического контроля.

В процессе анализа предметной области производство асбестового продукта было формализовано в виде его функциональной модели. Функциональное моделирование системы проведено в рамках SADT (IDEF0) – методологии.

Результаты анализа действующей системы были систематизированы в виде модели типа «как есть» (AS-IS), с помощью которой оказалось возможным установить «узкие места» в организации автоматизированного контроля качества продукции на предприятии:

- неэффективная организация данных в виде автономных файлов;
- небольшой набор контрольных параметров качества продукции;
- малоэффективный интерфейс пользователя и ограниченные возможности анализа данных;
- устаревшее программное обеспечение, ориентированное на MS DOS.

На основе критического анализа действующей системы бизнес-процессов была разработана модель типа «как будет» (TO-BE). Диаграмма декомпозиции актуальной функции «Анализ данных» представлена на рис.1. По результатам анализа было принято решение о реинжиниринге действующей системы контроля качества продукции.

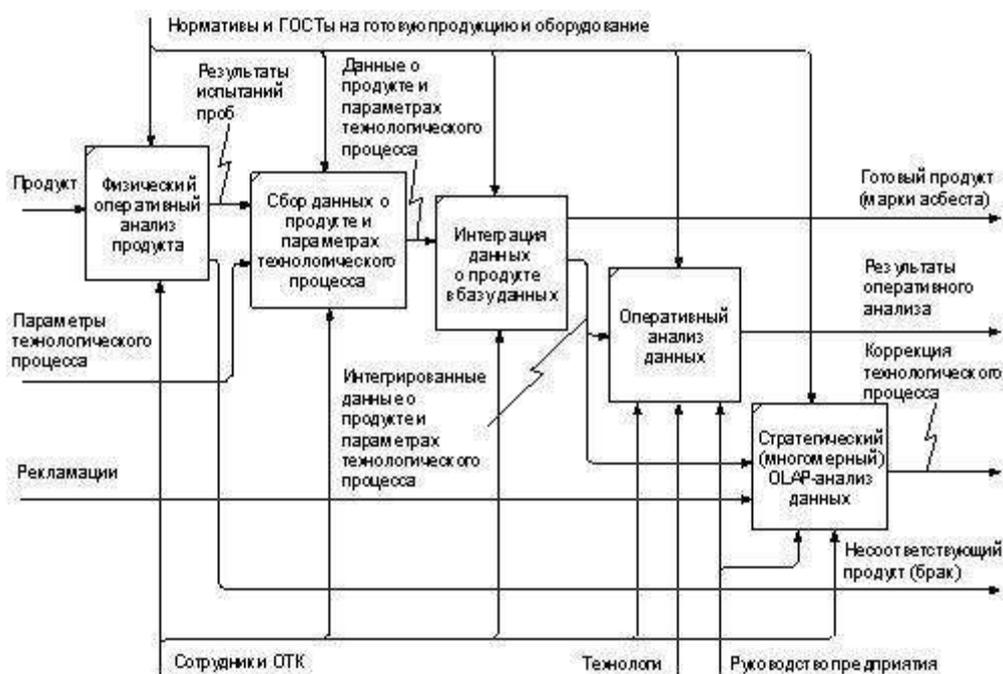


Рис. 1 – Диаграмма TO-BE декомпозиции функции «Анализ продукта».

Реинжиниринг осуществлялся по двум основным направлениям: создание интегрированной базы данных о продукции и параметрах технологического процесса, а также разработка интерфейса пользователя на основе OLAP - технологии многомерного анализа данных.

Структура базы данных была спроектирована с учетом потребности всех разрабатываемых модулей системы, что в дальнейшем значительно облегчило их интеграцию в общую информационную среду предприятия.

Бизнес-логика (основные вычисления, процедуры формирования коллекций для отчетов и т.п.) реализована на сервере баз данных Oracle 11g на основе хранимых процедур и пакетов PL/SQL.

Для реализации клиентской системы использовалась среда быстрой разработки приложений Borland Delphi 7, генератор отчетов Fast Report, библиотека формирования OLAP-кубов PivotCube.

Пользователям клиент-серверной системы были назначены разные права в зависимости от уровня их компетенции: только просмотр данных, редактирование данных, редактирование справочников, администрирование с полными правами.

Ввод данных осуществляется рядовыми сотрудниками, выполняющими оперативную работу, ежемесячно, ежесуточно и по партиям готовой продукции при помощи специальной формы. Для контроля корректности ввода данных используются справочники различных параметров. Предусмотрены также поиск, редактирование сменных показателей качества и формирование отчетов.

Оперативный анализ данных осуществляется с помощью просмотра традиционных структурированных отчетов следующих видов:

- экспресс-анализы по сменам (текущие ежемесячные пробы асбеста);
- суточные пробы асбеста;
- качественные характеристики по маркам (средние и средневзвешенные показатели качества продукции);
- технологический отчет (расчеты для ежемесячного отчета);
- статистические характеристики (среднее, минимум, максимум, коэффициент вариации по маркам, партиям и отдельным показателям).

Все отчеты системы допускается просматривать, распечатывать или экспортировать в один из трех форматов – pdf, xls, html.

Ежемесячные и ежесуточные данные по качеству готовой продукции формируются в каталог партий, который доступен для редактирования и просмотра. Имеется возможность выбрать каталог партий за любой год.

Для всестороннего многоаспектного анализа данных, например, руководством предприятия, более полезной будет многомерная модель данных в виде OLAP-кубов. Источником данных для куба является параметрический SQL-запрос. Параметрами запроса в нашем случае могут быть период (год, квартал, месяц, день), марка, партия готовой продукции, группа показателей качества и другие технологические параметры. Для проведения многомерного анализа показателей качества готовой продукции были спроектированы многомерные OLAP-кубы:

- для анализа несоответствий по бригаде;
- для анализа данных по группам показателей качества;
- для анализа попадания значений показателей качества в заданный интервал.

На рис.2 приведен пример фрагмента 17-мерного OLAP-куба «Статистика по всем показателям», предназначенного для анализа показателей качества по партиям и маркам продукции.

Статистика по всем показателям

Данные Вид Итого Экспорт График Обзор Закр

Таблица График

Размерности: Дня, Месяц, Квартал, Год, Страна, РИМ, Бюджет, Номер анализа, Несовместимы

Показатели: Колонки, Бригада

Группа марок: Нет фильтра

Марка: Нет фильтра

Партия: Нет фильтра

Группа марок: Нет фильтра

Бригада: Нет фильтра

ПК-0,075мм

Среднее	Максимум	Количество анализов	Среднее	Максимум	Количество анализов
33,32	46,00	37	21,14	26,00	7
43,35	56,00	111	46,75	56,00	20
46,00	56,00	11	48,83	56,00	8
44,84	54,00	19	49,90	54,00	5
48,43	54,00	7	52,00	54,00	3
42,75	52,00	12	45,50	52,00	2
42,86	52,00	85	41,50	47,00	6
41,75	50,00	16	50,00	50,00	1
50,82	71,00	232	51,90	68,00	39
61,18	67,00	11	67,00	67,00	1
62,00	65,00	2			
61,00	67,00	9	67,00	67,00	1
55,38	71,00	123	57,45	68,00	20
53,58	60,00	19	58,00	60,00	4
55,59	71,00	78	57,67	68,00	12
56,08	65,00	26	56,25	59,00	4
43,94	59,00	98	44,89	55,00	18

Рис. 2 – Куб данных по показателям качества продукции.

В зависимости от контекста анализа данных пользователь имеет возможность самостоятельно настраивать иерархическую структуру сводной таблицы куба путем переноса соответствующих размерностей с панели размерностей. С помощью редактора размерностей все значения можно фильтровать и упорядочивать. Возможно также формирование вычисляемых данных на основе predeterminedенных статистических функций (среднее, количество и других), а также оригинальных формул.

Анализ показателей качества продукции удобно проводить с помощью графиков. На графике более наглядно, чем в обычных структурированных отчетах, отображаются характеристики показателей и динамика их изменения. В компонентах OLAP-анализа графики присутствуют в обязательном порядке. На рис.3 приведен пример построенной по кубу «Статистика по всем показателям» гистограммы распределения статистических характеристик показателя ПК-0,075мм по группам марок асбеста.

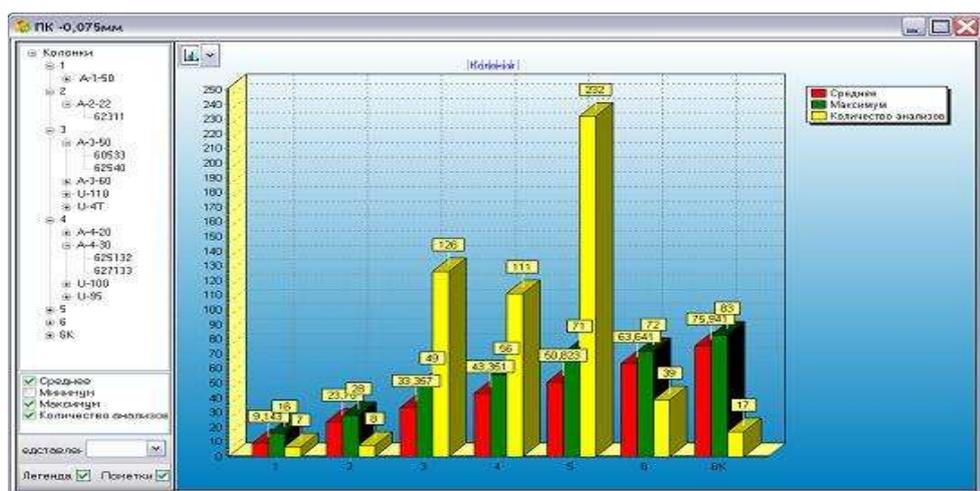


Рис. 3 – Гистограмма распределения показателя качества асбеста.

Результаты работы прошли апробацию на предприятии ОАО «УралАсбест». Опытная эксплуатация системы контроля качества продукции показала, что поставленные задачи успешно решены.

**Н. Н. Карнаухов д.т.н., Ш. М. Мерданов д.т.н., И. А. Пустовалов,
А. В. Яркин к.т.н.**

Тюменский государственный нефтегазовый университет
кафедра «Транспортные и технологические системы»
Россия, г. Тюмень
tts@tsogu.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье представлена методика определения параметров теплового аккумулятора двигателя строительной машины, а также рабочий процесс аккумулятора описывающий все этапы его работы. Конструкция теплового аккумулятора представляет собой чехол, закрепленный с внешней стороны двигателя. Тепловой аккумулятор за счет поглощения выделяемого двигателем тепла, способен поддерживать температуры двигателя в течение межсменной стоянки с целью обеспечения надежного запуска двигателя строительной машины. Использование теплового аккумулятора позволяет снизить эксплуатационные затраты на использование техники.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, эксплуатация строительных машин, зимние условия, предпусковая подготовка, тепловой аккумулятор.

Климатические условия Западной Сибири осложняют эксплуатацию строительной техники в связи с большим количеством дней в году с низкими отрицательными температурами, что приводит в свою очередь к увеличению затрат на предпусковую подготовку машины в начале смены. Проблема является особенно актуальной для районов, удаленных от баз механизации и специальных стоянок и от стационарных источников энергии [1].

На сегодняшний день существует большое количество способов обеспечения предпусковой подготовки строительной машины зимой, начиная от межсменной работы ДВС и заканчивая самыми современными подогревателями. Одним из направлений совершенствования средств предпусковой подготовки являются тепловые аккумуляторы, способные собирать тепло во время работы ДВС, сохранять его в период межсменной стоянки, а затем осуществлять прогрев холодного ДВС перед пуском.

Наиболее перспективными являются тепловые аккумуляторы на основе теплоаккумулирующих материалов претерпевающих фазовый переход с выделением скрытой теплоты.

В результате применения подобного рода тепловых аккумуляторов удастся обеспечить необходимый тепловой режим в момент пуска двигателя, уменьшить износ деталей ДВС, снизить временные и финансовые затраты на подготовку машины к работе, а также увеличить эффективность работы машины в целом.

Из выше сказанного следует вывод, что в направлении проектирования средств предпускового подогрева ДВС имеются большие возможности по созданию новых инновационных устройств для обеспечения надежного пуска ДВС в условиях низких температур.

Авторами предложена конструкция теплового аккумулятора, работа которого основана на выделении и поглощении тепла при изменении фазового состояния теплоаккумулирующего материала, отличающаяся тем, что применение теплового

аккумулятора не требует внесения каких-либо существенных изменений в конструкцию двигателя и других систем машины, легко монтируется, проста в обслуживании, не требует дополнительного источника энергии.

Конструкция теплового аккумулятора представляет собой несколько секций-контейнеров с теплоаккумулирующим материалом на основе ацетата натрия, закрепленных на поверхности блока цилиндров и поддона ДВС, сверху закрытых теплоизоляционным чехлом, состоящим из нескольких слоев (рис.1).

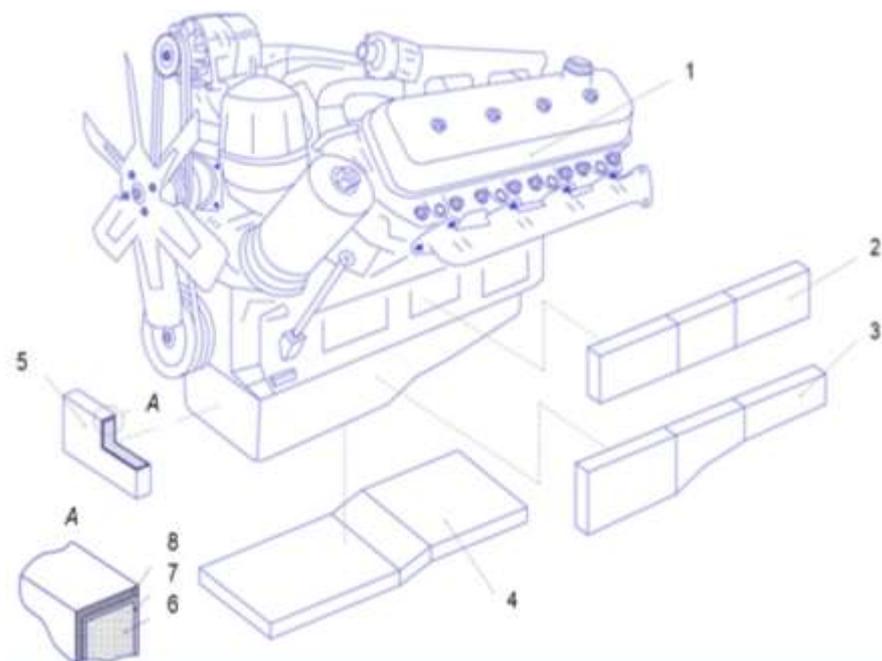


Рис. 1 - Тепловой аккумулятор для поддержания пусковой температуры.

ДВС строительной машины: 1 – ДВС; 2, 3, 4, 5 – секции с теплоаккумулирующим материалом; 6 – теплоаккумулирующий материал; 7 – теплоизоляционный материал; 8 – синтетическое основание.

Тепловой аккумулятор предназначен для обеспечения эффективного запуска двигателя автомобиля или строительной машины, эксплуатируемой в условиях низких температур окружающего воздуха (до -40°C). Тепловой аккумулятор может быть адаптирован под любой тип ДВС (бензиновый, дизельный), как отечественного так и импортного производства.

Существует ряд методик конструирования тепловых аккумуляторов, однако, они не могут в полной мере учесть всех особенностей конструкции предлагаемого устройства, поэтому разработана специальная методика определения параметров предлагаемой конструкции теплового аккумулятора.

В работе рассматриваются рабочие процессы и методика расчета теплового аккумулятора для поддержания пусковой температуры ДВС строительной машины.

Методика расчета теплового аккумулятора может использоваться при проектировании новых и модернизации существующих конструкций тепловых аккумуляторов, предназначенных для обеспечения эффективного запуска ДВС машин, эксплуатируемых в условиях Севера.

Рабочий процесс и тепловое взаимодействие теплового аккумулятора и ДВС в течение рабочей смены можно представить графически в виде цикла включающего шесть этапов (рис.2).

Первый этап: Двигатель, имеющий температуру, достаточную для надежного запуска (не ниже -10°C), запускается после межсменной стоянки. По истечении определенного промежутка времени, он выходит на рабочий режим, постепенно нагреваясь до рабочей температуры (90°C), при которой возможно наиболее эффективное выполнение эксплуатационных функций машины. Скорость прогрева ДВС зависит от множества факторов, одним из которых является температура окружающего воздуха.



Рис.2 - Рабочий процесс теплового аккумулятора ДВС машины.

Второй этап: В процессе работы машины, с поверхности блока цилиндров и поддона двигателя выделяется тепло, которое поглощается секциями теплового аккумулятора. Через 1-2 часа (в зависимости от температуры окружающего воздуха и режима работы машины), когда температура теплоаккумулирующего материала становится выше 65°C , начинается процесс фазового превращения раствора ацетата натрия – переход вещества из твердого агрегатного состояния в жидкое.

Третий этап: Процесс накопления тепловой энергии материалом продолжается в течение 3-4 часов. За это время происходит фазовый переход всего количества ацетата натрия в секциях теплоаккумулятора. Таким образом, к концу рабочей смены, температура теплоаккумулирующего материала выравнивается с рабочей температурой двигателя, т.е. достигает 90°C .

Четвертый этап: После остановки ДВС машины в конце рабочей смены происходит его постепенное остывание. Через 3-4 часа (время зависит от условий межсменной стоянки: температуры окружающего воздуха, скорости ветра и др.) температура ДВС опускается до $0 \dots -5^{\circ}\text{C}$.

Пятый этап: Состав теплоаккумулирующего материала подобран таким образом, что по достижению температуры вещества -5°C начинается процесс обратного фазового перехода – из жидкого состояния в твердое, с выделением скрытой теплоты (289 кДж/кг). При этом секции теплового аккумулятора нагревается до 58°C и передают выделившееся тепло двигателю.

Шестой этап: За счет выделения скрытой теплоты фазового перехода теплоаккумулирующего материала происходит нагрев двигателя до $10...15^{\circ}\text{C}$, что позволяет продлить время остывания двигателя до момента его последующего пуска.

Благодаря предложенной конструкции теплового аккумулятора, температура моторного масла в двигателе не опускается ниже -10°C во время межсменной стоянки машины в течении 8-10 часов (в зависимости от температуры окружающего воздуха), что позволяет осуществлять эффективный запуск ДВС при температуре окружающего воздуха $-30... -40^{\circ}\text{C}$.

По итогам проведенных теоретических и экспериментальных исследований [2], подтвердивших эффективность использования предложенного устройства, разработана методика расчета конструкции теплового аккумулятора (рис.3) для различных типоразмерных групп ДВС.

Данная методика позволяет в полной мере учесть условия эксплуатации строительной машины, а также включает в себя все процессы создания теплового аккумулятора.

Методика проектирования теплового аккумулятора состоит из четырех основных блоков:

I – определение исходных данных: нагреваемой массы ДВС, времени работы ДВС в течение смены, температуры окружающего воздуха.

II – определение площади поверхности теплопередачи, массы теплоаккумулирующего материала и производимого на основании полученных данных теплового расчета. Для этого используются известные теплотехнические способы расчета [2].

III – расчет конструктивных параметров теплового аккумулятора: геометрические размеры, количество и форма секций, размеры внешних теплоизоляционного и защитного слоев теплового аккумулятора.

IV – установка и способы закрепления секций теплового аккумулятора на ДВС строительной машины.



Рис.3 - Методика проектирования теплового аккумулятора ДВС.

Таким образом, используя изложенную выше методику расчета, основанную на предложенной ранее математической модели теплообменных процессов [3], можно получить

параметры теплового аккумулятора, необходимые для его изготовления, с учетом условий эксплуатации и конструктивных особенностей двигателя.

С помощью предложенной методики произведен расчет параметров и изготовлен экспериментальный образец теплового аккумулятора для двигателя ЯМЗ-238 экскаватора ЭО-2141. Тепловой аккумулятор позволяет поддерживать температуру двигателя в период межсменной стоянки (до 8-ми часов), не давая опуститься ей ниже -10°C при температуре окружающего воздуха $-28...32^{\circ}\text{C}$. Экспериментальные исследования разработанной конструкции подтвердили ее эффективность.

Список литературы:

1. *Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Шефер В.В., Иванов А.А.* Эксплуатация машин в строительстве: Учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. – 440 с.

2. *Карнаухов Н.Н., Пустовалов И.А., Яркин А.В.* Тепловой аккумулятор для поддержания пусковой температуры ДВС в период межсменной стоянки строительной машины в зимний период [Текст] / Отраслевой журнал «Автотранспортное предприятие», ноябрь, 2010. Москва, Издатель – НПП Транснавигация, Минтранс России, ISSN 2076-3050, стр. 45-48.

3. *Ваиуркин, И.О.* Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой [Текст] / И.О. Ваиуркин– Тюмень, ТюмГНГУ, 2001.–145 с.

А. В. Картуков, Г. В. Меркишин д.т.н., А. И. Репин д.т.н.

Московский авиационный институт (национальный университет)
факультет радиоэлектроники летательных аппаратов
кафедра “Радиоприемные устройства”
Россия, г. Москва
merkishingv@rambler.ru

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА И ИДЕНТИФИКАЦИИ МАРКИ ТОПЛИВА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований для задачи анализа и идентификации качества и марки топлива (жидкости) оптическими средствами. Используются угол рефракции лазерного луча в парах жидкости и характеристики ее испарения

Ключевые слова: распознавание, идентификация жидкостей, лазерный луч, рефракция.

Задача оперативной проверки качества авиационного топлива простыми и доступными средствами весьма актуальна и ее решение обеспечивает повышение безопасности авиационного транспорта. Использование приборов типа октанометров (например, октанометр SX-100M, разработанный в НПО “SHATOX” Института Химии Нефти—г. Томск) достаточно дорого, имеет узкую направленность и не гарантирует правильного решения в случае смеси жидкостей с близкими значениями диэлектрической проницаемости. Фазо-интерференционные методы довольно сложны и требуют высокоточной настройки [1]. Рассматриваемый ниже способ основан на использовании не одного, а двух физических параметров, что резко уменьшает вероятность наличия жидкостей с одинаковыми двумя характеристиками и обеспечивает правильную идентификацию жидкостей.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки.

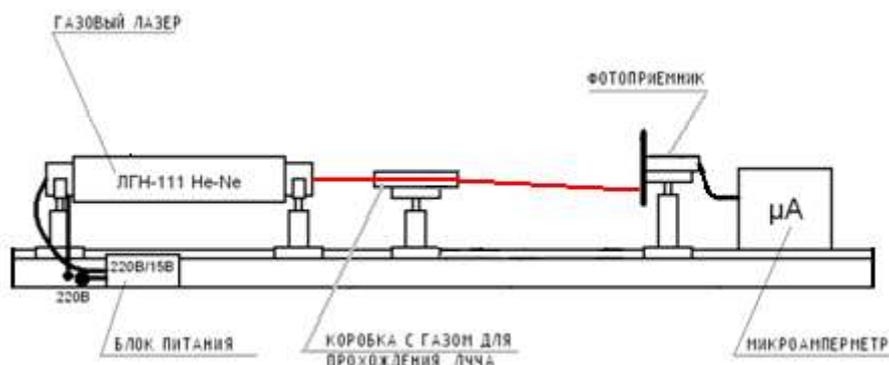


Рис. 1 - Схема экспериментальной установки.

Установка состоит из источника когерентного излучения - лазера ГНЛ-111, кюветы, длиной 8см, в которую наливается испаряющаяся жидкость и через которую проходит луч лазера, фотоприемника (фотодиод ФД24К) и микроамперметра.

В ходе эксперимента исследовался процесс испарения четырех жидкостей: бензин АИ-80, бензин АИ-92, бензин АИ-95 и спирт объемом 1 мл. Пары жидкостей имеют разный

коэффициент преломления, кроме того, исследуемые жидкости обладают разной скоростью испарения, характеризуются разным градиентом концентрации паров и, как следствие, разным углом рефракции луча. Поэтому отклонение луча меняется в зависимости от вида жидкости в лотке. Экспериментально определялось, как меняется отклонение луча и изменение фототока в зависимости от параметров окружающей среды, от вида и размеров коробки с испаряющейся жидкостью и структуры установки.

Вводится понятие «портрет жидкости (газа)» в виде зависимости уровня сигнала от времени, отсчитываемого с момента поступления в камеру исследуемого газа или жидкости.

Регистрация «портрета жидкости (газа)» производится следующим образом:

- вводится с помощью капельницы жидкость (в нашем эксперименте используем спирт, бензин (Аи95, Аи92, Аи80));
- после этого луч лазера отклоняется и перемещается вдоль вертикальной оси по площадке фотоприемника;
- как следствие смещения луча начинает меняться ток, который мы наблюдаем на микроамперметре;
- регистрация величины тока производится через каждые 20 секунд.

При проведении экспериментов необходимо определенное положение луча на фоточувствительной поверхности фотодиода. Если в начальном этапе расположить фотодиод относительно кюветы так, что луч займет позицию 1 (Рис.2), то, проходя через среду с парами и отклоняясь, на выходе фотоприемника мы не увидим особых изменений фототока, так как луч будет перемещаться в пределах фоточувствительной площадки. Поэтому регулируем геометрические параметры схемы таким образом, чтобы луч лазера занимал позицию 2 (Рис.2). Данная позиция позволит наблюдать большие изменения фототока, так как площадь освещаемой поверхности фотодиода при отклонении луча из-за рефракции будет уменьшаться.

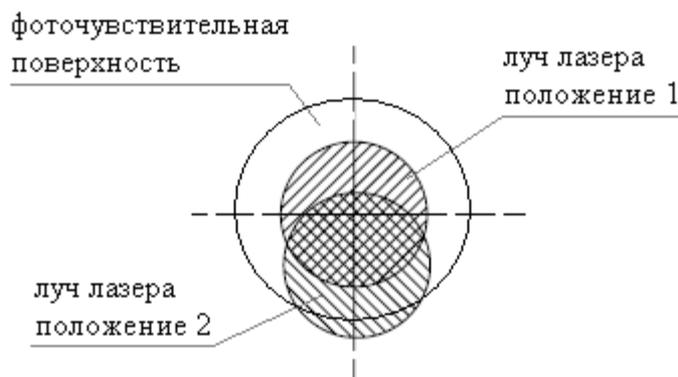


Рис. 2 - Варианты расположения лучей на фоточувствительной поверхности.

На установке данной комплектации был получены следующие "портреты" исследуемых жидкостей (рис. 3):

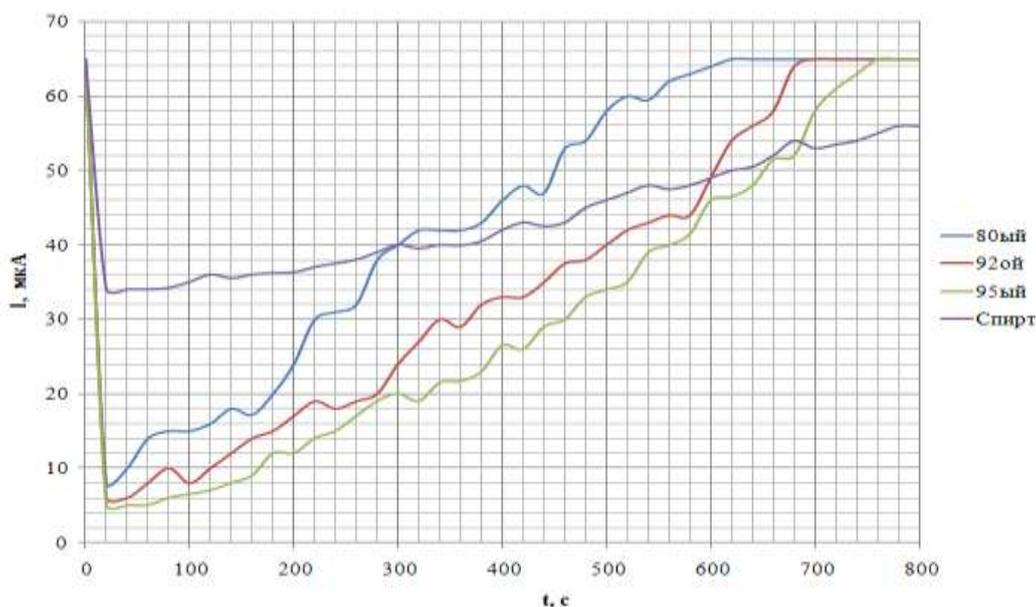


Рис. 3 - Портреты жидкостей.

При проведении эксперимента обращалось внимание на стабильность атмосферы в помещении: влияние открытого в помещении окна приводит к большей изрезанности зависимостей фототока от времени и обусловлено движением воздуха на трассе луча.

В качестве критериев при распознавании жидкости можно использовать, например, величину минимального значения фототока в приведенных зависимостях, а также время достижения фототоком исходной (до введения жидкости) величины.

В проведенных экспериментах наблюдаются малые относительные отличия по минимальному значению фототока между разными марками бензина (по сравнению с большим диапазоном изменения фототока), что затрудняет их идентификацию.

С целью увеличения динамического диапазона экспериментальной установки была изменена ее комплектация: перед фотоприемником установили положительную линзу на фокусном расстоянии этой линзы $F=50$ см.

Портреты жидкостей, полученные с данной установки, показаны на рис.4.

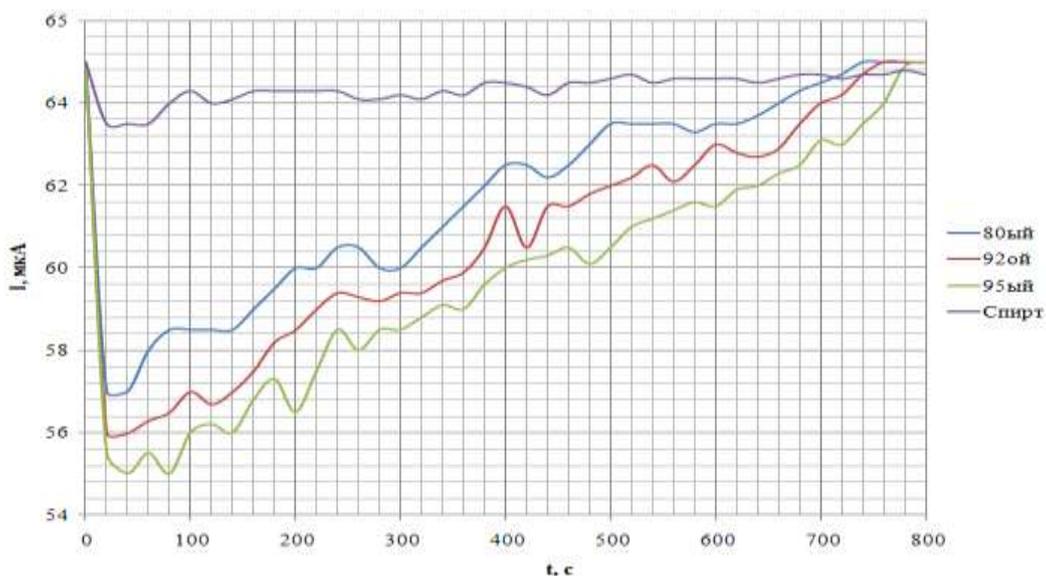


Рис. 4 - Портреты жидкостей.

Как видно из рис.4, минимальные значения фототока для разных марок бензина по сравнению с предыдущими зависимостями отличаются более резко на фоне относительно небольших общих изменений тока. Тем самым обеспечивается более уверенная идентификация исследуемых жидкостей.

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод о влиянии положительной линзы в составе схемы установки. Как видно из полученных графиков, без линзы при прохождении луча через пары бензинов луч отклоняется довольно сильно и почти полностью покидает площадку фотодиода. В результате мы получаем практически идентичные значения минимальных фототоков, что затрудняет задачу идентификации паров. Линза уменьшает эффект отклонения луча, при этом, преломляя его и возвращая на фоточувствительную поверхность, она не позволяет излучению полностью выйти за пределы фоточувствительной площадки, что дает возможность использовать имеющуюся установку и для паров жидкостей, создающих большой угол рефракции.

Заключение.

Основными результатами работы можно считать следующие.

1. Показана практическая возможность идентификации жидкостей по их параметрам относительно простыми средствами на основе явления рефракции лазерного излучения.

2. Представленная в работе экспериментальная установка позволяет использовать для идентификации совместно два физических параметра жидкости—коэффициент преломления излучения и характеристики процесса испарения, что обеспечивает высокую вероятность правильного распознавания жидкостей.

3. Показано влияние параметров экспериментальной установки на характер информационных зависимостей.

4. При идентификации жидкостей с большим диапазоном изменения фототока для расширения динамического диапазона установки можно воспользоваться положительной линзой.

Список литературы:

1. *Евстигнеев В.Л., Меркишин Г.В., Степанов А.С.* XIV Всероссийская конференция “Оптика и спектроскопия конденсированных сред”, Краснодар, 5-11 октября, 2008, с. 167.

И. С. Колбин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
факультет «Прикладная математика и физика»
кафедра «Вычислительная математика и программирование»
Россия, г. Москва
iskolbin@gmail.com

РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАЛИЗОВАННЫХ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ СЕТЕЙ

В работе предлагается использование сетей нормализованных радиально-базисных функций для решения стационарных задач математической физики. Приведены результаты нейросетевых решений для набора характерных задач с известными аналитическими решениями. На основе модельных примеров показана работоспособность подхода.

Ключевые слова: решение краевых задач, бессеточные методы, искусственные нейронные сети, ИНС, нормализованные радиально-базисные сети, НРБС.

В последнее время наметился определенный интерес к использованию нейросетевых методов для решения задач математической физики [1]. Несомненным достоинством такого подхода является бессеточный характер алгоритмов, что позволяет избежать типичных трудностей, связанных со сложной геометрией области и повышением размерности задачи. Кроме того, алгоритмы рассматриваемого класса адекватно адаптируются к решению обратных задач математической физики [2]. В тоже время для превращения нейросетевого подхода в эффективную вычислительную технологию необходимо преодолеть ряд трудностей. К ним относятся выбор базисных функций и размерности базиса, выбор алгоритмов оптимизации, контроль погрешности решения. Тем не менее, существует ряд хороших примеров, демонстрирующих в целом эффективность подхода [1].

Одними из самых популярных в практическом применении нейросетей являются сети основанные на радиально-базисных функциях (РБС). Нейронные сети данного класса показали свою эффективность при решении задач аппроксимации[3][4], экстраполяции[5] и др. Интерес представляет применение РБС и для решения задач математической физики[1]. В настоящей работе для решения краевых задач предлагается использовать сети с нормализованными радиально-базисными функциями (НРБС), обладающие усложнённой структурой, но при этом позволяющие получить более точный результат при прочих равных условиях (одинаковой размерностью сети, идентичным набором выборочных данных) [6]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Требуется найти решение краевой задачи в области Ω с границей Γ : $\Delta u + g(u) = f$, удовлетворяющее граничным условиям: $u|_{\Gamma} = s$, где Δ – оператор Лапласа, g, f – непрерывные в Ω , s – непрерывная на Γ функции.

Нейросетевой подход для решения данной задачи заключается в выборе некоторой параметрической модели \tilde{u} , которая является представлением точного решения u . Далее, требуется «обучить» сеть, т.е. подобрать параметры модели. Обучение сети заключается в минимизации некоторого функционала ошибки. Для этого выбирается набор из N_p контрольных точек внутри области и N_b на границе. В качестве функционала J выступает

сумма квадратов невязок в контрольных точках, которая получается при подстановке нейросетевого представления искомой функции в дифференциальное уравнение и граничные условия:

$$J = \frac{1}{N_p} \sum_{j=1}^{N_p} \delta(\Delta \bar{u}(X_j) + g(\bar{u}(X_j)) - f(X_j))^2 + \frac{1}{N_b} \sum_{k=1}^{N_b} \delta_k(\bar{u}(X_k) - s(X_k))^2.$$

Минимизация функционала может быть проведена любыми методами многомерной оптимизации.

СТРУКТУРА РБС И НРБС

Выход РБС имеет вид: $\bar{u}(X) = \sum_{i=1}^{N_n} \omega_i \varphi(b_i, r)$, $r = \|X - X_i^c\|$. В данной записи

параметры модели ω_i, b_i, X_i^c – веса, «ширины», и координаты центров активационных (базисных) функций, соответственно, N_n – число нейронов в сети. В качестве базисных наиболее часто используют гауссовы функции $\varphi(b, r) = \exp(-2r^2 b^{-2})$ и мультиквадрики $\varphi(b, r) = \sqrt{1 + (rb)^2}$.

Структура НРБС отличается от структуры традиционных радиально-базисных сетей нормализованным выходом. Для НРБС из N_n нейронов выход имеет следующий вид:

$$\bar{u}(X) = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} \omega_i \varphi(b_i, r)}{\sum_{i=1}^{N_n} \varphi(b_i, r)}.$$

И в случае РБС, и в случае НРБС, процесс обучения заключается в подборе параметров модели ω_i, b_i, X_i^c , при которых нейросетевое приближение давало бы приемлемые результаты.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для демонстрации подхода был выбран характерный набор краевых задач: одномерная, двумерные, трехмерные, с пограничным слоем, со сложной областью. Задачи 2, 3 и 4 из [8]. В качестве базисных были использованы гауссовы функции. Нейросетевые и аналитические решения сравнивались для оценки СКО ε в 100 равномерно распределённых в области точках. Для всех задач, кроме второй, $\delta = 1, \delta_k = 1$. Контрольные точки для обучения также выбирались случайным образом из области. Для обучения использовался метод Хука-Дживса [7]. Результаты вычислений сведены в таблицу. Далее рассматривается решение каждой задачи.

Таблица – Результаты вычислений

Задача 1			Задача 2			Задача 3		
N_n	J	ε	N_n	J	ε	N_n	J	ε
2	0.02040	0.02667	2	0.00069	0.00249	4	0.03224	0.17955
4	0.01418	0.024	4	0.00051	0.00163	8	0.00224	0.04735
6	0.00109	0.01034	6	0.00012	0.00123	12	0.00196	0.009
8	0.00002	0.00141	8	0.00003	0.00041	16	0.00005	0.002
Задача 4			Задача 5					
N_n	J	ε	N_n	J	ε			
2	0.37284	0.16218	8	0.00385	0.02709			
4	0.00025	0.00542	16	0.00055	0.00691			
6	0.00003	0.00072	24	0.00007	0.00234			
8	0.00001	0.00069	32	0.00001	0.00096			

1. Уравнение Пуассона на плоскости

Для первого эксперимента было выбрано уравнение: $\Delta u = \sin x \sin y$, с граничными условиями: $u(0, y) = 0$, $u(\pi, y) = 0$, $u(x, 0) = 0$, $u(x, \pi) = 0$.

Для решения был выбран набор из $N_p = 30$ контрольных точек внутри области и $N_b = 15$ на каждой границе. Задача последовательно решалась на НРБС состоящих из 2, 4, 6 и 8 нейронов.

2. Уравнение Пуассона с погранслоинным характером решения

Рассматривается одномерное уравнение $u'' = k^2 u$, где $k = 27.79$. Значения на границах: $u(0) = 1$, $u(1) = 1$. Данная задача имеет следующее аналитическое решение:

$$u(x) = \frac{e^k - 1}{e^k - e^{-k}} e^{-kx} + \frac{1 - e^{-k}}{e^k - e^{-k}} e^{kx}.$$

Для решения было использовано $N_p = 20$ контрольных точек внутри области. Данная задача решалась с весовыми коэффициентами функционала $\delta = 10^{-5}$, $\delta_k = 1$. Для решения использовались сети с 2, 4, 6 и 8 нейронами.

3. Однородное уравнение Гельмгольца

Дано уравнение на плоскости $\Delta u - \lambda^2 u = 0$, с граничными условиями $u(0, y) = \sinh \mu(1 - y)$, $u(1, y) = -\frac{\sinh \mu(1 - y)}{\sinh \mu}$, $u(x, 0) = \cos \pi x$, $u(x, 1) = 0$. Постоянные в

уравнениях: $\lambda = 2$, $\mu = \sqrt{\lambda^2 + \pi^2} \approx 3.72$. Аналитическое решение задачи имеет вид:

$$u(x, y) = \cos \pi x \frac{\sinh \mu(1 - y)}{\sinh \mu}.$$

Для решения было использовано $N_p = 30$ контрольных точек внутри области и $N_b = 15$ на каждой границе. Были использованы сети на 4, 8, 12 и 16 нейронах.

4. Уравнение Пуассона в кубе

Дано трехмерное уравнение:

$\Delta u = \sin(u^2) + -\sin(\sin^2(x + y + z)) - 3\sin(x + y + z)$, с граничными условиям: $u(0, y, z) = \sin(y + z)$, $u(x, 0, z) = \sin(x + z)$, $u(x, y, 0) = \sin(x + y)$, $u(1, y, z) = \sin(1 + y + z)$, $u(x, 1, z) = \sin(1 + x + z)$, $u(x, y, 1) = \sin(1 + x + y)$.

Аналитическое решение задачи имеет вид $u(x, y, z) = \sin(x + y + z)$.

Для решения было использовано $N_p = 30$ контрольных точек внутри области и $N_b = 15$ на каждой границе. Задача решалась с весовыми коэффициентами $\delta = 1$, $\delta_k = 1$. Для решения использовались сети из 2, 4, 6 и 8 нейронов.

5. Уравнение Лапласа в шаре

Дано уравнение Лапласа: $\Delta u = 0$. Граничное условие имеет вид: $u_r = x^2 y^2 + x^2 z^2 + y^2 z^2$. Граница сферическая: $x^2 + y^2 + z^2 = r_0$, $r_0 = 1$. Аналитическое решение данной задачи имеет вид:

$$u(x, y, z) = x^2 y^2 + x^2 z^2 + y^2 z^2 + 0.2(r_0^4 - (x^2 + y^2 + z^2)^2).$$

Для решения было использовано $N_p = 100$ контрольных точек внутри шара и $N_b = 100$ на поверхности сферы. Были использованы сети на 8, 16, 24 и 32 нейронах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложено для решения задач математической физики использовать сети нормализованных радиально-базисных функций. Были приведены решения характерных

краевых задач, по результатам которых можно, в целом, говорить о работоспособности предлагаемого подхода. В дальнейшем предполагается рассмотреть применение НРБС для решения нестационарных и обратных задач математической физики.

Список литературы:

1. А.Н.Васильев, Д.А.Тархов. Нейросетевое моделирование. Принципы, алгоритмы, приложения. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
2. А.Н. Васильев, Ф.В. Порубаев, Д.А.Тархов. Нейросетевой подход к решению некорректных задач теплопереноса. – Научно-технические ведомости СПбГПУ 1' 2011 Информатика. Телекоммуникации. Управление.-С. 133-141.
3. М. Powell, Radial basis functions for multivariate interpolation, Algorithms for Approximation, pp. 143–167, 1987.
4. D. Broomhead and D. Lowe, Multivariate function approximation and adaptive networks, Complex Systems, vol. 2, pp. 321–355, 1988.
5. Roger D. Jones, Y. C. Lee, C. W. Barnes, G. W. Flake, K. Lee, P. S. Lewis, and S. Qian, Function approximation and time series prediction with neural networks, Neural Networks, vol. 1, pp. 649-665, 1990.
6. Bugmann, G. Normalized Radial Basis Function Networks. Neurocomputing(Special Issue on Radial Basis Function Networks), vol.20, pp. 97-110, 1998.
7. А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высш. шк., 2008.-С. 130-138.
8. Zhenhua Chai, Baochang Shi, A novel lattice Boltzmann model for the Poisson equation, Appl. Math. Mech. vol. 32, pp. 2050–2058, 2008.

С. А. Колегов

Воткинский Филиал Ижевского Государственного Технического Университета
Технологический факультет, кафедра Технология Машиностроения и Приборостроения
Россия, г. Воткинск
atv_votkinsk@bk.ru

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ.

Рассмотрены тепловые потоки в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью и управление ими за счет подведения СОТС.

Ключевые слова: абразивная обработка, резание, СОТС, теплообмен, теплопроводность, температура в зоне обработки, шлифование.

В процессе шлифования деталей из хромоникелевых сталей типа X27Ю5Т, 12Х18Н10Т, 12Х25Н16Г7АР, ХН67ВМТЮ в зоне контакта инструмента с деталью, от действия сил резания, трения и деформации возникает высокая температура, которая в виде теплового потока направлена в основном в тело детали, вызывая различные физико-химические изменения в поверхностном слое обрабатываемой детали (прижоги, структурные превращения и т.д.), что отрицательно влияет на прочностные характеристик деталей работающих в условиях знакопеременных и циклических нагрузках. Для исключения дефектов температурного происхождения тепловой поток, возникающий в зоне контакта шлифовального круга с деталью, необходимо направить из области высокой температуры (от абразивного зерна) в область с низкой температурой, чем является смазочно-охлаждающая технологическая среда (СОТС).

Это выполнимо только в том случае, когда СОТС будет находиться в непосредственном контакте с абразивным зерном на всем пути его движения по обрабатываемой поверхности, и значительная часть теплоты в процессе шлифования будет поглощаться и переносится движущейся квазисплошной средой – СОТС [1].

Для практических расчетов передачи образовавшегося тепла в СОТС установлена формула:

$$Q^* = Qt = \alpha(T_d - T_o)Ft \quad (1)$$

где: Q^* – количество полученной теплоты СОТС, Дж; Q – тепловой поток, Вт; T_d – средняя температура поверхности тела (детали), К; T_o – средняя температура СОТС поступающая к абразивным зернам, К; F – расчетная площадь поверхности теплообмена, м²; t – время протекания процесса, мин; α – коэффициент теплоотдачи, количество теплоты отданное 1 м² шлифуемой поверхности за единицу времени, Вт/(м²·К).

Данная формула (1) отражает тот важный факт, что коэффициент теплоотдачи α слабо зависит от разности температур и размеров поверхности теплообмена по сравнению с Q . Краевые условия задаются в виде полей температур, в рассматриваемой области (зоне резания) в определенный момент времени. Например, начальное поле температур в некотором теле при внезапном изменении условий теплообмена на его поверхности. Такие краевые условия называются управляемыми.

Кроме того необходимо учитывать и влияние теплообмена на изменение условий взаимодействия на границах раздела, т.к. эти условия сильно зависят от температуры и плотности теплового потока при интенсивной термогравитационной конвекции, а также возникновение тепловых не стационарностей возникающих на поверхности детали под влиянием интенсивных пульсаций температур, которые образуются в зоне резания от

неравномерности выступления абразивных зерен, неравномерности расстояния между ними, дисбаланса и т.д.

Уравнение, описывающее процесс распространения тепла, может быть представлено в виде [2, 3]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mathcal{G} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2)$$

где: $T=T(x, y, z, t)$ – пространственно-временное распределение температуры в излучаемой фазе (детали); λ – коэффициент теплопроводности; c – теплоемкость; γ – плотность среды; \mathcal{G} – скорость движения источника тепла (круга).

Для того чтобы $T(x, y, z, t)$ являлось единственным решением поставленной задачи, оно должно одновременно удовлетворять некоторым начальным и граничным условиям.

Начальное условие:

$$T=T(x, y, z, t)=const \quad (3)$$

задает распределение температуры внутри исследуемой области в зоне резания в начальный момент времени – граничное условие третьего рода, которое задается в форме закона Ньютона-Рихмана (например, на поверхность $x=b$) при этом:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=b} + \alpha T \Big|_{x=b} = 0 \quad (4)$$

для простоты считаем, что температура окружающей среды равна нулю, а α – коэффициент теплоотдачи.

Таким образом, задачу нахождения решения уравнения теплопроводности можно сформулировать следующим образом.

Найти решение $T=T(x, y, z, t)$, удовлетворяющее уравнению (2), начальному условию (3), краевому условию (4).

На плоскости $x=b$, в зоне контакта круга с деталью задан тепловой поток:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q, (x', y', z') \in S \quad (5)$$

и условие теплообмена

$$q \Big|_S + \alpha T \Big|_S = 0 \quad (6)$$

где: q – плотность теплового потока, Вт/м²; S – площадь контакта круга с деталью, м².

Для решения этой задачи воспользуемся методом источников (метод Грина). Запишем функцию источника в виде закона распределения температуры:

$$T(x, y, z, t, x', y', z', t') = \frac{Q(x', y', z', t')}{c\gamma [4\pi a(t-t')]^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + [z-z'+\mathcal{G}(t-t')]^2}{4a(t-t')} \right\} \quad (7)$$

Это выражение представляет собой закон распределения температуры в пространстве от точечного источника, если в момент времени t' в точке с координатами (x', y', z') мгновенно выделилось количество тепла Q .

Решением уравнения (7) без граничных условий будет функция:

$$T = \iiint_V \frac{Q(x', y', z', t')}{c\gamma [4\pi a(t-t')]^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + [z-z'+\mathcal{G}(t-t')]^2}{4a(t-t')} \right\} dx' dy' dz' dt' \quad (8)$$

отражающая случай выделения тепла в неограниченном теплопроводящем пространстве V за время t . Описываемое этой функцией температурное поле обладает симметрией относительно точки (x', y', z') .

Если теплопроводящее пространство ограничено (например деталь), сферическая симметрия нарушается, температурное поле деформируется. Величина и характер этих

искажений зависят от близости источника тела и характера граничных условий. Для тел, ограниченных плоскостями, граничные условия выполняются сравнительно просто, методом отражений.

Пусть на поверхности $x=b$ выполняются условия третьего рода, т.е. задан теплообмен по закону Ньютона-Рихмана. Для простоты можно считать, что температура окружающей среды равна нулю.

Если в точке $A(x',y',z')$ в момент времени t' мгновенно выделилось количество тепла Q , то для удовлетворения условия (5) достаточно, считая теплопроводящую среду продолженной за ограничивающую плоскость $x=b$, приложить в точке $B(2b-x',y',z')$ отраженный источник равной интенсивности и распределенный по экспоненциальному закону сток тепла (отрицательный источник тепла), общая интенсивность которого равна интенсивности основного и отраженного источников. Закон распределения стока имеет вид:

$$Q = \frac{\alpha}{\lambda} Q \exp\left(-\frac{\alpha}{\lambda} x\right) \quad (9)$$

Если же теперь точку A устремить к поверхности $x=b$, то и точка B устремится к поверхности, в результате основной и отраженный источник сольются в один источник удвоенной интенсивности. Функция источника, удовлетворяющая условию (3), представляется в виде (с учетом условия(4)):

$$T = \frac{2q}{c\gamma[4\pi a(t-t')]^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp\left\{\frac{(x-b)^2 + (y-y')^2 + [z-z'+g(t-t')]^2}{4a(t-t')}\right\} - \frac{2\alpha}{\lambda} \frac{q}{c\gamma[4\pi a(t-t')]^{\frac{3}{2}}} \cdot \int_0^{\infty} \exp\left\{\frac{(x-b+x')^2 + (y-y')^2 + [z-z'+V(t-t')]^2}{4a(t-t')} - \frac{\alpha}{\lambda} x\right\} dx' \quad (10)$$

Данное выражение позволяет, используя вычислительную технику, провести расчет температуры в зоне резания с учетом теплообмена.

Выводы.

Задач (2), (4), (10) при решении дают возможность определить конструктивные параметры шлифовального круга, зернистость и количество подаваемой СОТС для обеспечения оптимального процесса обработки.

Список литературы:

1. Кутателадзе С.С. – Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – с. 367.
2. Резников А.Н. Теплофизика. – М.: Машиностроение, 1969. – с. 288.
3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение. 1978. – с. 167.

И. С. Коновалов, В. И. Матюхин, О. В. Матюхин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, г. Екатеринбург
konovalov96@inbox.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИСПЕРСНОМ СЛОЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

На основании экспериментальных исследований температурных полей по сечению агрегата и анализу газовых проб было установлено наличие существенной неравномерности в распределении температурных и скоростных полей. Разработан способ интенсификации тепловой и газодинамической работы шахтных печей.

Ключевые слова: шахтные печи, удельный расход воздуха, неравномерность газораспределения, радиальная и окружная температуры.

При полностью заполненном объеме рабочего пространства шахтной печи процесс теплообмена между газами и материалами завершен при соотношениях теплоемкостей потоков материала и газов более единицы. Условное деление рабочего пространства шахтных печей цветной металлургии на три характерные зоны позволяет установить, что их средняя температура и скорость движение газов в первоначальный период проплава шихты зависят от удовлетворительного снабжения печи воздухом. Целью данного исследования является разработка способа интенсификации тепловой и газодинамической работы шахтных печей цветной металлургии.

В соответствии с данными исследований на филиале «ППМ» ОАО «Уралэлектромедь» было установлено температурное поле слоя на уровне сыпи шихтовых материалов в виде изотерм. Анализ представленных данных показывает присутствие явно выраженной неравномерности температурных и скоростных полей на уровне засыпи. Примерно на 2/3 длины печи в центральной ее части и наиболее удаленной справа по ходу движения дутья, наблюдается слабопродуваемая зона с ярко выраженным ограничением по движению газов, вследствие неравномерного распределения по сечению агрегата шихтовых материалов, имеющих низкую газопроницаемость, а также неудачной конструкции воздухоподводящего тракта. Неудовлетворительное снабжение воздухом наиболее удаленной от ввода воздушного дутья зоны приводит к общему снижению средних значений температуры на уровне засыпи, что является следствием падения скорости по всему сечению этой области (рис. 1).

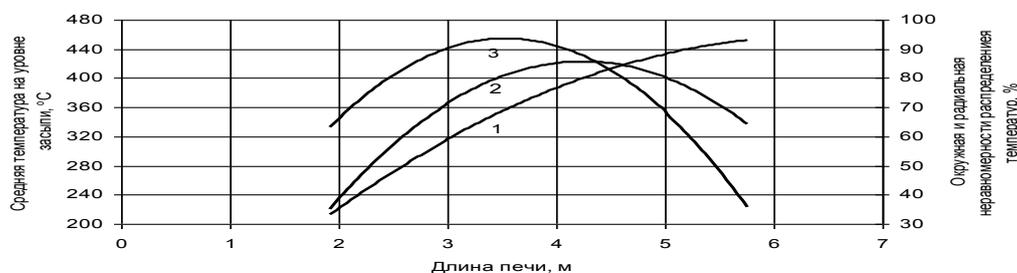


Рис. 1 – Изменение окружной (1), радиальной (2) неравномерности распределения газов и средней температуры слоя (3) по длине печи.

При этом в объеме слоя наиболее удаленной зоны образуется наибольшая неравномерность распределения газов по ее периметру. Окружная неравномерность газораспределения увеличивается практически линейно по мере удаления от места ввода воздушного дутья. Кривая значений радиальной неравномерности распределения газов носит экстремальный характер, вследствие наличия слабопродуваемой зоны и неблагоприятного воздействия зоны сбора и выпуска расплава. Ближе к летке образуется область рабочего пространства с повышенной газопроницаемостью слоя вследствие разрыхляющего эффекта опускающимся из верхних горизонтов к выпускному отверстию расплава. Наличие разрыхленного конуса шихты с невысоким аэродинамическим сопротивлением приводит к созданию условий для фонтанирования мелкодисперсных твердых компонентов в этой области. В наиболее удаленной области от ввода дутья происходит некоторое снижение значений радиальной неравномерности распределения газов, которые по отношению к первой зоне, также остаются высокими.

При существующих размерах фурм диаметром 130 мм с максимально возможным для реальных условий расходе воздуха $35-40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ мин})$ воздушная струя имеет среднюю скорость на входе в слой 5-10 м/с и обладает кинетической энергией мощностью не выше 120-150 Вт. Это обеспечивает глубину проникновения воздушной струи в слой в горизонтальном направлении не более 2-5 диаметров кусков шихты от периферии рабочего пространства [1]. Эта же протяженность определяет величину области окислительных процессов с преимущественным образованием диоксида углерода (рис. 2).

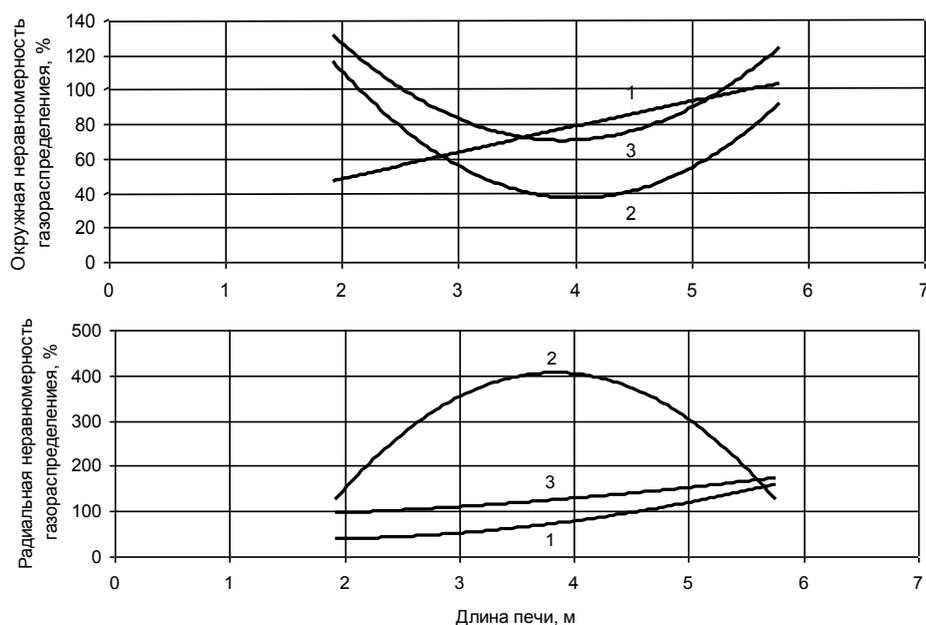


Рис. 2 – Изменение окружной (верхний) и радиальной (нижний) неравномерности распределения газов по длине печи. Цифры у кривых: CO₂ (1), O₂ (2) и CO (3).

Как видно из графиков, неравномерность распределения по монооксиду углерода увеличивается как по периметру, так и в направлении к центру рабочего пространства, что подтверждает вышеупомянутое утверждение. По мере удаления от места ввода дутья, в связи с преимущественным развитием восстановительных процессов по мере сокращения количества вводимого воздуха наблюдается постепенное сокращение поступления кислорода в рабочее пространство, что непременно сказывается на неравномерности распределения. В этом случае окружная и радиальная неравномерность распределения диоксида углерода повышается, а кислорода и монооксида углерода сокращается.

Таким образом, условия тепловой и газодинамической работы, на основании расчетно-теоретических исследований неизоотермического движения газового потока применительно к условиям работы шахтных печей на филиале «ППМ» ОАО «Уралэлектромедь», будут определяться протяженностью развития выделенных технологических зон и характером распределения воздушного дутья по всему сечению агрегата. Анализ данных ранних исследований [2] показали, что их максимальные значения достигаются при высоких величинах удельного расхода воздуха, которым соответствует протяженность первых двух исследуемых технологических зон.



Рис. 3 – Изменение средней температуры слоя (1), окружной (2) и радиальной (3) неравномерности распределения газов от удельного расхода воздуха.

Альтернативным способом улучшения тепловой и газодинамической работы шахтных печей цветной металлургии является применение звуковых и ультразвуковых колебательных систем. Вследствие колебаний твердых элементов слоя в акустическом поле, применительно к условиям реального технологического процесса, возникающие вибрации отдельных кусков насыпи способствуют разрушению пограничного слоя около колеблющихся частиц и появлению дополнительных конвективных потоков [3]. В разреженных средах запыленных потоков, под действием динамического и статического напора движущихся газов, возникают крупномасштабные контуры циркуляции групп частиц с изменением направления их движения, которые в свою очередь способствуют проявлению поршневого эффекта.

Анализ данных неравномерности температурных и скоростных полей на уровне засыпи шихты показал общее улучшение тепловой и газодинамической работы шахтных печей на исследуемом предприятии.

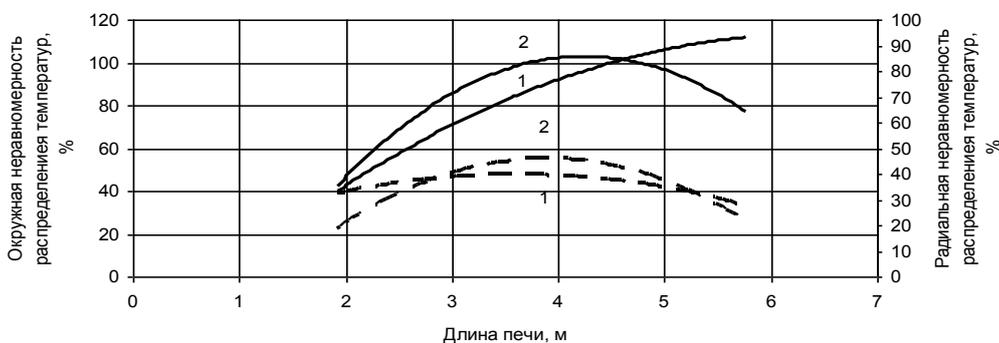


Рис. 4 – Изменение окружной (1), радиальной (2) неравномерности распределения температур слоя без акустической интенсификации (сплошная линия) и с акустической интенсификацией (пунктирная линия).

Если в случае обычной работы шахтных печей наблюдается повышение значений окружной неравномерности распределения в наиболее удаленной от места ввода дутья области, то с акустической интенсификацией процесса эти значения практически выравниваются, величины радиальной неравномерности распределения температур носит подобный с обычным процессом характер, но смещается в область меньших значений. Это говорит о некотором улучшении работы наиболее удаленной зоны, что также подтверждают данные анализа газовых проб.

По одновременному снижению окружной и радиальной неравномерностей по CO_2 , незначительному увеличению концентраций монооксида углерода и практически неизменному характеру распределения кислорода по всему сечению, можно судить о выравнивании условий горения кокса по всему периметру печи и его более эффективном использовании.

Список литературы:

1. *Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г.* Тепломассоперенос. М.: Академкнига, 2002. – 455с.
2. *Матюхин В.И., Матюхин О.В., Ярошенко Ю.Г.* Совершенствование тепловых режимов шахтных печей цветной металлургии. Цветная металлургия, 2010, №3, с.57-64.
3. *Коновалов И.С., Матюхин В.И., Матюхин О.В.* Моделирование процессов взаимодействия частиц кусковых материалов при наложении акустического поля. Научно-технический вестник Поволжья, 2011, №2, с. 103-107.

И. Е. Кузнецов к.г.н.

Военный авиационный инженерный университет
Россия, г. Воронеж
vaiumet@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ В ОСАДКАХ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В работе предлагается методика оценки ошибки определения метеорологической дальности видимости в осадках, основанная на модели измерения радиолокационной отражаемости облаков и осадков, а также на модели связи радиолокационной отражаемости осадков и метеорологической дальности видимости в них.

Ключевые слова: методика, радиолокационные измерения, метеорологическая дальность видимости, осадки, ошибки.

Введение. Метеорологическая дальность видимости (МДВ) является одним из основных факторов, которые определяют условия взлета и посадки воздушных судов, а также важным элементом при принятии решения на производство авиационных работ. Известно [1], что в процессе определения МДВ возникают различного рода ошибки, связанные в первую очередь с методикой измерений, особенностями измерительных средств, а также естественной изменчивостью самой величины. Это приводит к описанию полей данной метеорологической величины с ошибками, знание которых необходимо для принятия оптимальных решений, а также для разработки методик, повышающих точность измерений данной метеорологической величины.

Целью работы является разработка методики оценки статистических характеристик ошибок измерения МДВ для их дальнейшего исследования и учета при проведении радиолокационной разведки погоды.

Модель определения метеорологической дальности видимости по данным радиолокационных измерений. Получение информации о метеорологической дальности видимости в осадках по данным радиолокационного зондирования атмосферы основано на зависимости видимости, интенсивности осадков и радиолокационной отражаемости от размеров капель.

Эта зависимость представлена формулами [1, 2, 3]

$$Z = 64 \cdot N \int_{r \min}^{r \max} r^6 f(r) dr, \quad I = \frac{4}{3} \pi \cdot \rho \cdot N \int_{r \min}^{r \max} r^3 V(r) f(r) dr \quad (1)$$

$$S = \frac{3,5}{\gamma_{осл}}, \quad \gamma_{осл} = 1,36 \cdot 10^{-2} \cdot N \int_{r \min}^{r \max} r^2 f(r) \cdot K(m, r, \lambda) dr \quad (2)$$

где N – концентрация частиц в единичном объеме; ρ – плотность частицы; r – радиус частицы; S – метеорологическая дальность видимости; $\gamma_{осл}$ – интегральный коэффициент ослабления; $f(r)$ – закон распределения частиц по размерам; $K(m, r, \lambda)$ – коэффициент ослабления электромагнитной волны одной частицей; λ – длина волны; m – комплексный коэффициент преломления электромагнитной волны веществом частицы.

Функциональную связь между величинами S и Z можно установить только тогда, когда известны законы распределения частиц по размерам – $f(r)$, а также скорости их падения – $V(r)$.

Отсутствие надежных данных о характере изменения микроструктуры облаков и осадков (спектров размеров капель облаков и осадков) не дает возможности судить о реальных значениях параметров, входящих в формулы (1), (2). Поэтому на практике используют эмпирическую связь между радиолокационной отражаемостью облаков, осадков и видимостью [1, 2]

$$S = A \cdot Z^B, \quad (3)$$

где S – метеорологическая дальность видимости; Z – радиолокационная отражаемость, A и B – коэффициенты, зависящие от вида и интенсивности осадков в которых определяется видимость. Анализ формулы (3) показывает, что для определения МДВ необходимо провести измерения Z .

Методика расчета ошибок определения метеорологической дальности видимости в осадках по радиолокационным данным. Измерения радиолокационной отражаемости сопровождаются погрешностями, величина которых зависит от: структуры облаков и осадков; технических характеристик метеорологической радиолокационной станции (МРЛ); удаления метеорологических объектов от МРЛ; затухания радиолокационного сигнала по трассе распространения электромагнитной волны; характера флуктуаций отраженных сигналов, обусловленных временной изменчивостью и пространственной неоднородностью микрофизической структуры облаков и осадков; способа обработки и регистрации, отраженных от метеобъекта сигналов [1, 4]. Ошибка измерения радиолокационной отражаемости облаков и осадков $\Delta Z = Z_{ист} - Z_{изм}$ ($Z_{ист}$ – истинное значение радиолокационной отражаемости; $Z_{изм}$ – измеренное значение радиолокационной отражаемости) случайна, т.к. определяется случайными параметрами $Z_{ист}$ и $Z_{изм}$. Она характеризуется законом распределения $f(\Delta Z)$ с математическим ожиданием ($m(\Delta Z)$) и дисперсией ($\sigma^2(\Delta Z)$). Имея информацию о математическом ожидании и дисперсии этих случайных параметров и, используя теоремы о числовых характеристиках функций случайных аргументов [4], с учетом формулы (3) можно определить статистические характеристики ошибки измерения МДВ ΔS : математическое ожидание $m(\Delta S)$ и дисперсию $\sigma^2(\Delta S)$ по предлагаемым формулам (4)–(10)

$$m(\Delta S) = m(S_{ист}) - m(S_{изм}); \quad (4)$$

$$\sigma^2(\Delta S) = \sigma^2(S_{ист}) + \sigma^2(S_{изм}) - 2K \cdot \sigma(S_{ист}) \cdot \sigma(S_{изм}); \quad (5)$$

$$\text{где } m(S_{изм}) = 10^{m(\lg S_{изм}) + 1,151 \cdot \sigma^2(\lg S_{изм})}; \quad \sigma^2(S_{изм}) = m^2(S_{изм}) \cdot (10^{1,151 \cdot \sigma^2(\lg S_{изм})} - 1); \quad (6)$$

$$m(\lg S_{изм}) = \lg A + B \cdot [m(\lg Z_{изм})]; \quad \sigma^2(\lg S_{изм}) = B^2 \cdot \sigma^2(\lg Z_{изм}); \quad (7)$$

Оценку погрешности измерения радиолокационной отражаемости осадков проведем в соответствии с известным принципом измерения Z [1]. Допустим, что на расстоянии R от МРЛ находится метеорологическая цель с известной радиолокационной отражаемостью ($Z_{ист}$).

Тогда значение радиолокационной отражаемости ($Z_{изм}$) при потенциале станции Π_M и измеренной мощности отраженного от метеоцели радиолокационного сигнала W_i будет равно $\lg Z_{изм} = \lg\left(\frac{W_i}{W_{ш}}\right) + 2 \lg R - \lg \Pi_M - \lg K_{осл}$, где W_i – средняя мощность принятого i -го сигнала (Вт); $W_{ш}$ – уровень собственных шумов радиолокатора (Вт); Π_M – потенциал метеорологического радиолокатора ($\text{км}^2/\text{мм}^6 \cdot \text{м}^{-3}$); $K_{осл}$ – ослабление электромагнитной

волны. Математическое ожидание и дисперсия измеренных значений Z_{uzm} будут определяться выражениями

$$m(\lg Z_{uzm}) = \sum_{i=1}^n P_i(\lg Z_{uzm_i}) \cdot \lg Z_{uzm_i} \quad \sigma^2(\lg Z_{uzm}) = \sum_{i=1}^n P_i \left(\lg Z_{uzm_i} - \sum_{i=1}^n P_i(\lg Z_{uzm_i}) \cdot \lg Z_{uzm_i} \right)^2.$$

Значения $P_i(\lg Z_{uzm_i})$ находятся с учетом закона распределения усредненного напряжения

$W(\bar{U}) \quad P_i = \int_{U_i}^{U_{i+1}} W(\bar{U}) dU$. Поскольку в автоматизированных МРЛ для измерения Z

метеорологических целей используется выходное напряжение сигнала U , усредненное по

числу зондирующих импульсов в пространстве $\bar{U} = 1/k \sum_{i=1}^k 1/n \sum_{j=1}^n U_{ij}$, где $n = E \left[\frac{2L}{c\tau} \right]$ – число

усредняемых в радиальном направлении импульсных объемов, содержащихся в объеме

измерения; $k = E \left[\frac{30\theta F n}{\pi F_0} \right]$ – число зондирований объема измерения за время поворота

антенны на угол равный Θ ; U_{ij} – i -ое дискретное значение напряжения на выходе детектора

в j -ом зондировании; $E [*]$ – целая часть числа; L – размер объема измерения в радиальном

направлении, то каждому значению порогового напряжения будет соответствовать

определенное значение мощности, принимаемого от метеорологической цели сигнала W_i и

вероятность P_i , с которой данный сигнал может быть обнаружен. При наличии полезного

сигнала, усредненное напряжение \bar{U} сравнивается с пороговыми напряжениями,

определяемые как $U_n = U_{n-1} \cdot 10^{0,1}$ (при шаге дискретизации равном 1 дБ), т.е. $U_i \leq \bar{U} \leq U_{i+1}$.

Закон распределения \bar{U} нормален, поэтому P_i можно выразить следующим образом:

$$P_i = \Phi \left[\frac{U_{i-1} - m(\bar{U})}{\sigma(\bar{U})} \right] - \Phi \left[\frac{U_i - m(\bar{U})}{\sigma(\bar{U})} \right]. \quad (8)$$

Математическое ожидание $m[\bar{U}]$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma(\bar{U})$ определяются из выражений:

$$m(\bar{U}) = \sqrt{\pi/2} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sqrt{\sigma_{cij}^2 + \sigma_{uij}^2}}{nk}, \quad \sigma(\bar{U}) = \sqrt{2 - \pi/2} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sqrt{\sigma_{cij}^2 + \sigma_{uij}^2}}{nk}, \quad (9)$$

где σ_{ij} – средняя мощность сигнала, отраженного i -ым импульсным объемом при j -ом зондировании.

Расчеты статистических характеристик ошибок измерения Z и S были проведены с использованием многолетних данных радиолокационных наблюдений за облаками и осадками [5]. Результаты расчетов в зависимости от Z_{uzm} , длины волны λ и удаления от МРЛ приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Статистические характеристики ошибок измерения Z в осадках в зависимости от $Z_{ист}$, длины волны и удаления от МРЛ

Характер осадков	Длина волны, см	Стат. хар-ки	Удаление метеоцели, км				
			10	30	50	70	90
Осадки сильные $Z_{ист} = 33,1$	3	$m[\Delta Z]$	0,8	1,5	3,2	4,3	5,1
		$\sigma^2[\Delta Z]$	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
	10	$m[\Delta Z]$	0,7	1,4	3,1	4,1	4,9
		$\sigma^2[\Delta Z]$	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
Осадки умеренные $Z_{ист} = 25,2$	3	$m[\Delta Z]$	0,6	1,3	2,1	2,9	3,2
		$\sigma^2[\Delta Z]$	0,4	0,4	0,4	0,41	0,41
	10	$m[\Delta Z]$	0,6	1,2	1,9	2,2	2,8
		$\sigma^2[\Delta Z]$	0,4	0,4	0,4	0,41	0,41
Осадки слабые $Z_{ист} = 13,1$	3	$m[\Delta Z]$	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
		$\sigma^2[\Delta Z]$	0,38	0,38	0,38	0,4	0,4
	10	$m[\Delta Z]$	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3
		$\sigma^2[\Delta Z]$	0,38	0,38	0,38	0,4	0,4

Выводы. В результате анализа проведенных расчетов установлено, что ошибка определения метеорологической дальности видимости в осадках функционально зависит от ошибки измерения радиолокационной отражаемости осадков. Оценка ΔS является смещенной. Величина $m[\Delta S]$ зависит от условий распространения радиоволн и удаления зоны осадков. Изменение $m[\Delta S]$ носит линейный характер и увеличивается при удалении от МРЛ.

Таблица 2 – Статистические характеристики ошибки измерения видимости в осадках ΔS радиолокационным способом

Характер осадков	Длина волны, см	Стат. хар-ки	Удаление метеоцели, км				
			10	30	50	70	90
Осадки сильные $S_{ист} = 0,94$ км	3	$m[\Delta S]$	0,47	0,56	0,63	0,71	1,78
		$\sigma^2[\Delta S]$	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87
	10	$m[\Delta S]$	0,37	0,48	0,55	0,66	1,68
		$\sigma^2[\Delta S]$	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82
Осадки умеренные $S_{ист} = 2,1$ км	3	$m[\Delta S]$	0,32	0,45	0,52	0,60	1,61
		$\sigma^2[\Delta S]$	0,77	0,77	0,77	0,79	0,79
	10	$m[\Delta S]$	0,31	0,43	0,50	0,58	1,59
		$\sigma^2[\Delta S]$	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72
Осадки слабые $S_{ист} = 7,7$ км	3	$m[\Delta S]$	1,21	1,33	1,46	1,51	1,59
		$\sigma^2[\Delta S]$	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62
	10	$m[\Delta S]$	1,19	1,23	1,39	1,41	1,49
		$\sigma^2[\Delta S]$	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62

С увеличением длины волны влияние ослабления электромагнитного сигнала, обусловленное осадками уменьшается, и, следовательно, уменьшается $m[\Delta S]$. Среднеквадратическое отклонение ошибки ΔS , являясь мерой ее флуктуации, не зависит от истинного значения $Z_{ист}$ и в рассматриваемом диапазоне дальности почти не изменяется.

Список литературы:

1. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91.– С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1993. – 360 с.
2. *Степаненко В.Д.* Радиолокация в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 343 с.
3. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеиздат, 1993. – 230 с.
4. *Кудашкин А.С. Кудрявая А.И.* Теория вероятности и математическая статистика в метеорологии. – М. Воениздат, 1985. – 324 с.
5. *Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминова Г.Л.* Радиолокационные характеристики облаков и осадков.– Л.: Гидрометеиздат, 1986.– 231 с.

Ю. М. Кузовников, В. Н. Хмелев д.т.н., С. Н. Цыганок к.т.н.

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
кафедра Методов и средств измерений и автоматизации
Россия, г. Бийск
vnh@bti.secna.ru

РАЗРУШЕНИЕ МАСЛЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Статья посвящена поиску решения проблемы разрушения устойчивых масляных эмульсий за счет воздействия широкополосными ультразвуковыми колебаниями вторичного излучения, формируемого кавитацией.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, эмульсия, разделение

Эмульсии – это микрогетерогенные системы, состоящие из двух практически взаимно-нерастворимых жидкостей, которые очень сильно отличаются друг от друга на молекулярном уровне. Если одна из жидкостей является полярной, например вода, то вторая – должна быть неполярной или малополярной, например, органической жидкостью. К числу неполярных соединений относятся моторные масла, используемые в двигателях и агрегатах автомобилей для смазки, а также масла, применяемые для смазки трущихся деталей промышленных станков и прочего оборудования. Попавшая извне вода становится загрязняющим веществом, нарушает регламентные режимы работы оборудования и может привести к его разрушению. Все используемые технологии выделения воды из масел имеют существенные ограничения и недостатки (сложность реализации, невозможность обработки в проточном режиме) [1, 2].

Для разделения компонентов эмульсии необходимо осуществлять разрушение адсорбционных оболочек и объединять диспергированные среды в сплошную фазу.

Особый интерес представляет изучение влияния ультразвукового воздействия на процесс разделения устойчивых эмульсий вода-масло. Однако, известно, что высокоинтенсивное УЗ воздействие в кавитационном режиме приводит к дополнительному эмульгированию за счет диспергирования частиц смеси [3].

Для осуществления деэмульсификации необходимо произвести эксперименты по обработке эмульсии механическими колебаниями ультразвуковой частоты с низкой интенсивностью, не допуская возникновения режима развитой кавитации.

Для проведения экспериментов по разделению эмульсии воды и масла первоначально были получены модельные эмульсии дистиллированной воды и минерального моторного масла 15W-40 по классификации SAE, со следующим соотношением компонентов:

- 10% масла (30 мл) – 90% воды (270 мл),
- 20% масла (60 мл) – 80% воды (240 мл),
- 40% масла (120 мл) – 60% воды (180 мл),
- 50% масла (150 мл) – 50% воды (150 мл),
- 60% масла (180 мл) – 40% воды (120 мл),
- 80% масла (240 мл) – 20% воды (60 мл).

Процесс эмульсификации производился с использованием ультразвукового технологического аппарата для обработки жидких сред «Волна-М» модель УЗТА 1/22-ОМ (рис. 1), разработанного в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института [4].



Рис. 1 – Ультразвуковой аппарат «Волна-М» модель УЗТА-1/22-ОМ для обработки жидких сред.

Частота ультразвукового воздействия – 20 кГц, интенсивность излучения – 10 Вт/см². Обработка производилась в объеме 300 мл в течение 1 часа для каждой смеси. За это время, при обработке с выбранной интенсивностью в предложенном объеме, для каждой смеси процесс образования эмульсии полностью завершался. Средний размер дисперсных частиц после обработки во всех концентрациях равнялся 80±8 мкм. Полученные эмульсии не расслаивались естественным образом в течение 7 дней.

Для проведения исследований по разделению полученных эмульсий с помощью акустических колебаний ультразвуковой частоты был использован тот же ультразвуковой аппарат со специально разработанным излучателем колебательной системы. Излучатель представляет собой тонкостенную звукопроводящую металлическую оболочку, внутри которой прокачивается вспомогательная жидкость (рис. 2).



Рис. 2 – Модернизированный излучатель ультразвукового аппарата «Волна-М».

В жидкости, между излучателем и ультразвуковой колебательной системой, под воздействием ультразвуковых колебаний в режиме «развитой кавитации» зарождаются и мгновенно схлопываются парогазовые пузыри. Коллапсирующие парогазовые полости являются источником колебаний широкого спектра частот. Совокупность колебаний ультразвуковой частоты и широкополосных колебаний кавитационного происхождения являются источником колебаний широкого спектра. Таким образом, на поверхность оболочки передаются не только колебания, соответствующие резонансной частоте излучателя, но и широкополосные колебания, порождаемые кавитацией, причем внутри оболочки колебательной системы создаются мощные высокоинтенсивные колебания ультразвуковой частоты и колебания широкого спектра средней интенсивности, а за пределы звукопроницаемой оболочки проходит сумма колебаний, состоящая из низкоинтенсивных колебаний ультразвуковой частоты и колебаний широкополосного кавитационного спектра.

Для исключения избыточного нагрева зоны вокруг излучателя, подбирается температура вспомогательной жидкой среды внутри оболочки.

При реализации ультразвукового воздействия излучатель погружается в обрабатываемую эмульсию. В суммированных колебаниях, излучаемых звукопроницаемой оболочкой, присутствуют гармоники с частотами от десяти килогерц до мегагерц. Таким образом, в жидкой среде создаются условия для сближения и слияния капель дисперсной среды, т.е. идет процесс деэмульсификации. Этому способствуют интенсивные микропотоки и перепады давления, вызванные прохождением колебаний в жидкой среде.

Далее были проведены эксперименты по ультразвуковой обработке полученных модельных суспензий с использованием модернизированного ультразвукового излучателя. Отделение воды происходило сразу же после введения колебаний. При этом интенсивность разделения падала с течением времени экспоненциально. Обработка производилась в течение 1 часа для каждой эмульсии. По истечении этого времени видимое разделение эмульсий прекращалось. Данные об объеме воды выделенной из эмульсий в ходе экспериментов приведены ниже в таблице.

Таблица – Объем воды, выделенной из эмульсий в процессе обработки

Тип эмульсии	Объем выделенной воды, %
10 % масла – 90 % воды	88.3
20 % масла – 80 % воды	75.8
40 % масла – 60 % воды	44.3
50 % масла – 50 % воды	29.3
60 % масла – 40 % воды	24
80 % масла – 20 % воды	16.5

Очевидно, что безкавитационное воздействие колебаний сложного спектра частот, состоящего из колебаний ультразвуковой частоты и широкополосной кавитационной составляющей, позволяет инициировать процесс разделения устойчивой эмульсии воды и масла. При этом, выделяемый объем воды пропорционален ее исходному количеству. Исследование образцов эмульсий после процедуры обработки показало, что средний размер дисперсных капель остался тем же что и до ультразвукового воздействия. Это позволяет сделать вывод, что объединенные капли воды тут же покидают эмульсию.

Неполное разделение эмульсий в экспериментах, возможно, происходит вследствие того, что на определенном этапе обработки достигается предельная превалирующая концентрация капель масла и при этом значительно демпфируются распространяемые от излучателя колебания. Процесс деэмульсификации прекращается или протекает очень медленно в приповерхностном слое. Для полного разделения исследуемых эмульсий потребуется значительная продолжительность времени обработки.

В ходе проведенных исследований доказана эффективность применения выбранного ультразвукового оборудования для образования устойчивых эмульсий воды и масла. Возможно его успешное применение для приготовления многокомпонентных смазочно-охлаждающих жидкостей.

Подтверждена возможность использования широкополосных ультразвуковых колебаний низкой интенсивности в безкавитационном режиме для разделения устойчивых эмульсий воды и масла. При этом наблюдается прямая зависимость между объемом выделенной воды и объемом воды, присутствующей в исходной эмульсии. Предложенное оборудование может быть использовано в промышленных системах отделения воды присутствующей в виде эмульсии в маслах.

В ходе экспериментов не было достигнуто полного разделения эмульсий вследствие значительного падения динамики процесса. Детальное исследование причин этого и разработка аппаратно-методических условий, обеспечивающих полное разделение эмульсии в кратчайшие сроки, является предметом дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Eachus, A. "The Trouble with Water" Tribology & Lubrication Technology/ Society of Tribologists and Lubrication Engineers Publishing. – Ridge Park, IL, 2005.
2. Troyer, D. Removing Water Contamination/ Machinery Lubrication Magazine. – Tulsa, 2001.
3. Ультразвуковая технология [Текст] / под ред. Б.А. Аграната. – М.: Металлургия, 1974. – 505 с.
4. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна-М» – «Центр ультразвуковых технологий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ultrasonic.ru/devices/volna_m2.

О. С. Лехов д.т.н.*, Е. Ю. Раскатов к.т.н., Д. А. Соловьев***

*Российский государственный профессионально-педагогический университет
кафедра «Механика»

**Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина
кафедра «Металлургические и роторные машины»
Россия, г. Екатеринбург
raskatov@pochta.ru

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Представлены результаты решения задачи определения напряженно-деформированного состояния металла в мгновенном очаге деформации при пилигримовой прокатке труб. Приведены графики изменения напряжений по длине и периметру мгновенного очага деформации.

Ключевые слова: мгновенный очаг деформации, тонкостенная труба, сжимающие и растягивающие напряжения, подача, калибр.

В работе [1] изложена постановка задачи определения напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при пилигримовой прокатке бесшовных труб, приведена плоская расчетная модель прокатываемой трубы с калибром валка и представлены расчетные значения силовых параметров пилигримовой прокатки труб.

Очень важно оценить уровень и закономерности изменения напряжений, как по длине очага деформации, так и по толщине стенки трубы. Это позволит выявить в объеме деформированного полого тела области высоких растягивающих напряжений, которые являются главной причиной образования внешних дефектов (рванин), особенно при прокатке тонкостенных труб.

Также важно оценить закономерности обжатия и течения металла, как по длине очага деформации, так и по ширине калибра в зависимости от величины подачи, особенно в местах выпуска калибров. Эти задачи усложняются в связи с тем, что при пилигримовой прокатке труб в каждый момент времени рабочий конус валков последовательно соприкасается с металлом не по всей поверхности очага деформации, а какой-то сравнительно небольшой частью, то есть имеет место мгновенный очаг деформации. В связи с этим возникают трудности с представлением результатов решения задачи.

Моделирование процесса прокатки труб в пилигримовом стане выполнялось с использованием программного продукта ANSYS v10.0 [2]. Расчет выполнялся в объемной постановке. Положение линий, для которых определены напряжения на поверхности трубы, приведены на рис. 1.

Напряжения приведены в цилиндрической системе координат, вдоль указанных на рис. 1 линий. Для напряжений приняты следующие обозначения: SX – нормальные (радиальные) напряжения; SXZ – касательные напряжения; SY – тангенциальные напряжения; SZ – осевые продольные (вдоль трубы) напряжения.

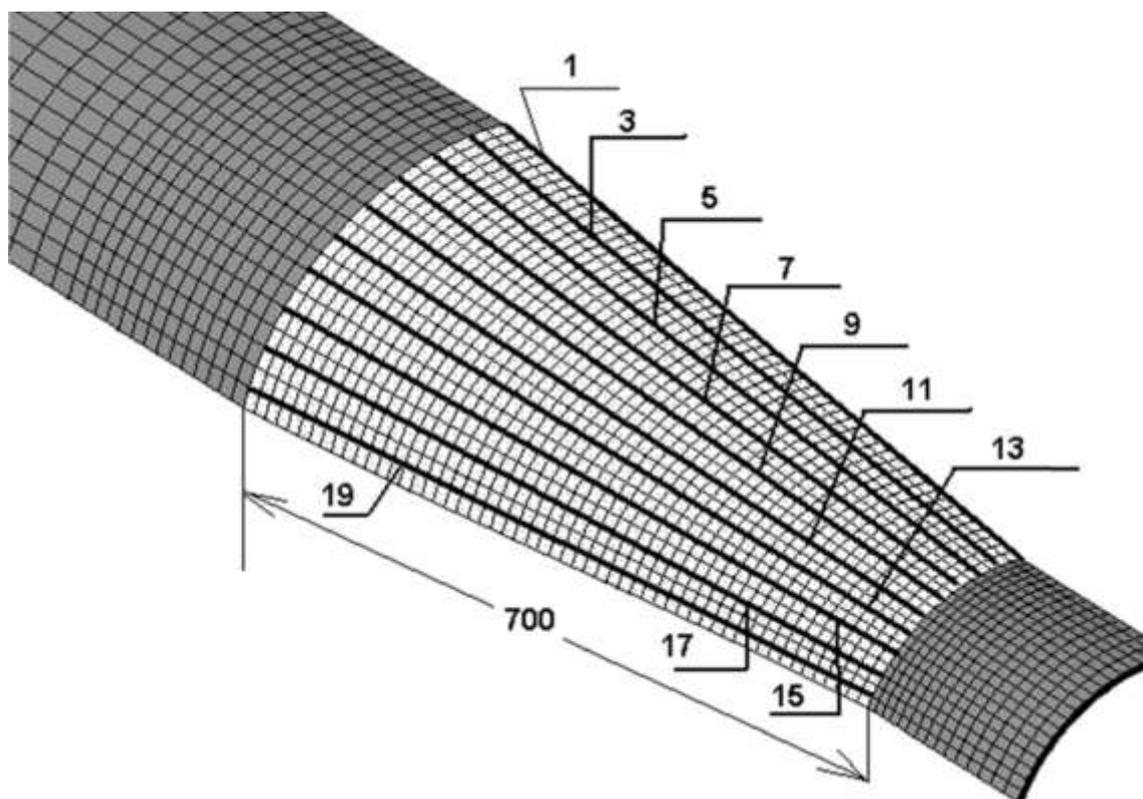


Рис. 1. Расчётная модель очага деформации.

Для подачи 10 мм напряжения приведены для семи положений поворота валка, а именно при его повороте на 70, 80, 90, 100, 110, 120 и 130 градусов. При повороте 70 градусов момент прокатки принимает максимальное значение, а при 100 градусах максимальное значение принимает усилие прокатки. Для подачи 30 мм напряжения приведены для шести положений поворота валка, а именно при его повороте на 80, 100, 110, 120, 130 и 140 градусов. При повороте на 80 градусов момент принимает максимальное значение, а при повороте на 110 градусов максимальное значение принимает усилие прокатки.

На рис. 2 и 3 приведены графики изменения нормальных – SX , касательных – SXZ , тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений для угла поворота валка 100 градусов соответственно для подач 10 и 30 мм. Значения максимальных нормальных – SX , касательных – SXZ , тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений в очаге деформации в зависимости от угла поворота валка приведены для подачи 10 мм в табл. 1, а для подачи 30 мм – в табл. 2.

Таблица 1

Значения максимальных контактных нормальных – SX и касательные – SXZ , тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений на поверхности катания в зависимости от угла поворота валка. Подача 10 мм. Калибровка 110-65-45-140

Угол поворота валка, градусы	Значения максимальных напряжений, МПа			
	SX	SXZ	SY	SZ
70	325	-69	-320*	-180*
		67	63**	160**
80	448	-83	-350	-290
		103	58	185
90	587	-101	-475	-419
		118	53	221
100	764	-118	-619	-549
		141	47	190
110	732	-120	-613	-513
		124	49	163
120	615	-129	-546	-450
		81	82	177
130	442	-49	-345	-234
		82	92	176
* - отрицательные значения соответствуют сжимающим напряжениям				
** - положительные значения соответствуют растягивающим напряжениям за исключением SXZ				

Таблица 2

Значения максимальных контактных нормальных – SX и касательные – SXZ , тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений на поверхности контакта в зависимости от угла поворота валка. Подача 30 мм. Калибровка 110-65-45-140

Угол поворота валка, градусы	Значения максимальных напряжений, МПа			
	SX	SXZ	SY	SZ
80	450	-81*	-500*	-470*
		90**	73**	217**
100	707	-117	-606	-510
		99	43	162
110	768	-141	-704	-677
		78	41	135
120	800	-132	-690	-660
		72	115	169
130	911	-140	-770	-677
		127	136	187
140	795	-119	-701	-644
		115	108	200
* - отрицательные значения соответствуют сжимающим напряжениям				
** - положительные значения соответствуют растягивающим напряжениям за исключением SXZ				

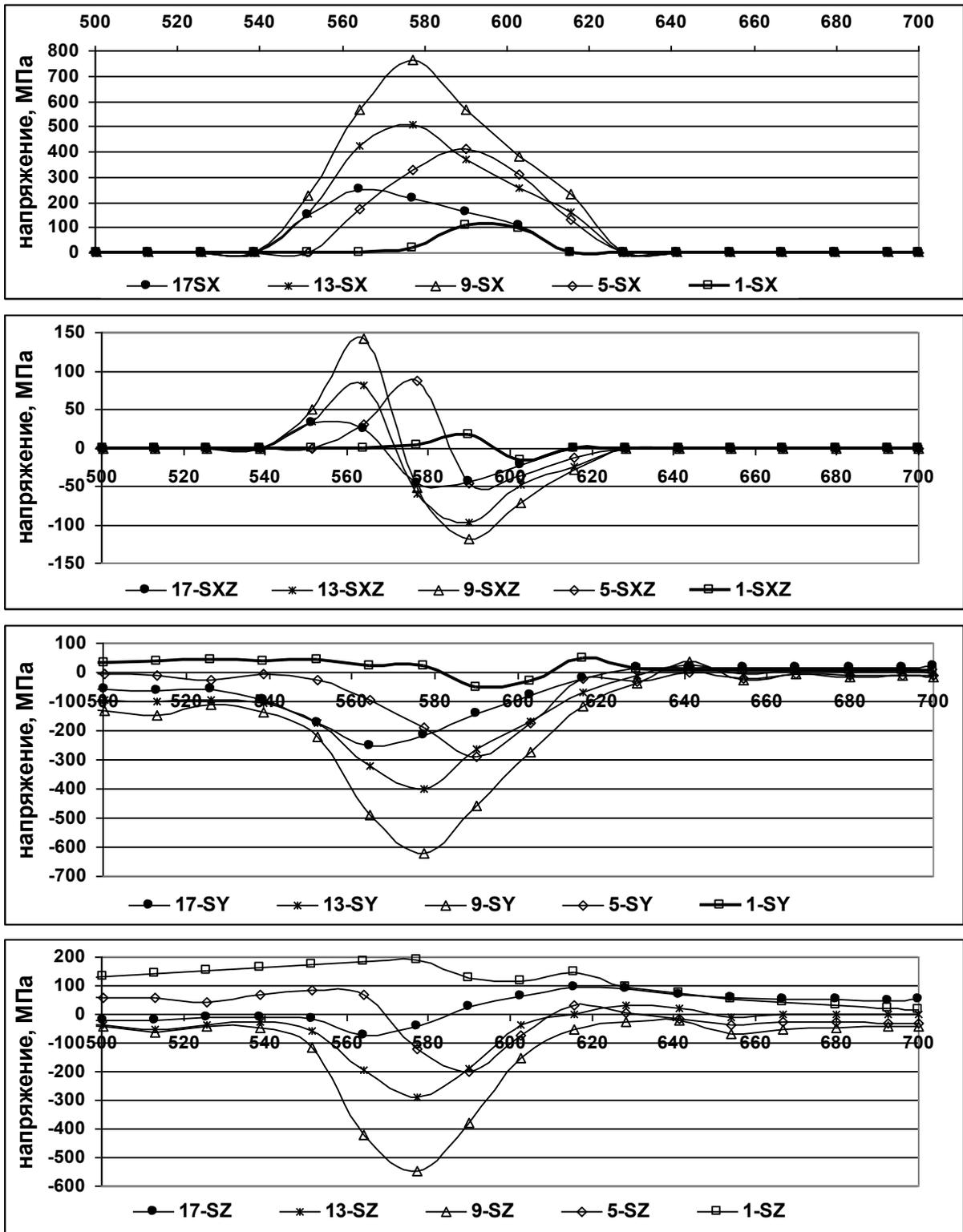


Рис. 2. Графики изменения нормальных – SX, касательных – SXZ, тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений для угла поворота валка 100 градусов для подачи 10 мм.

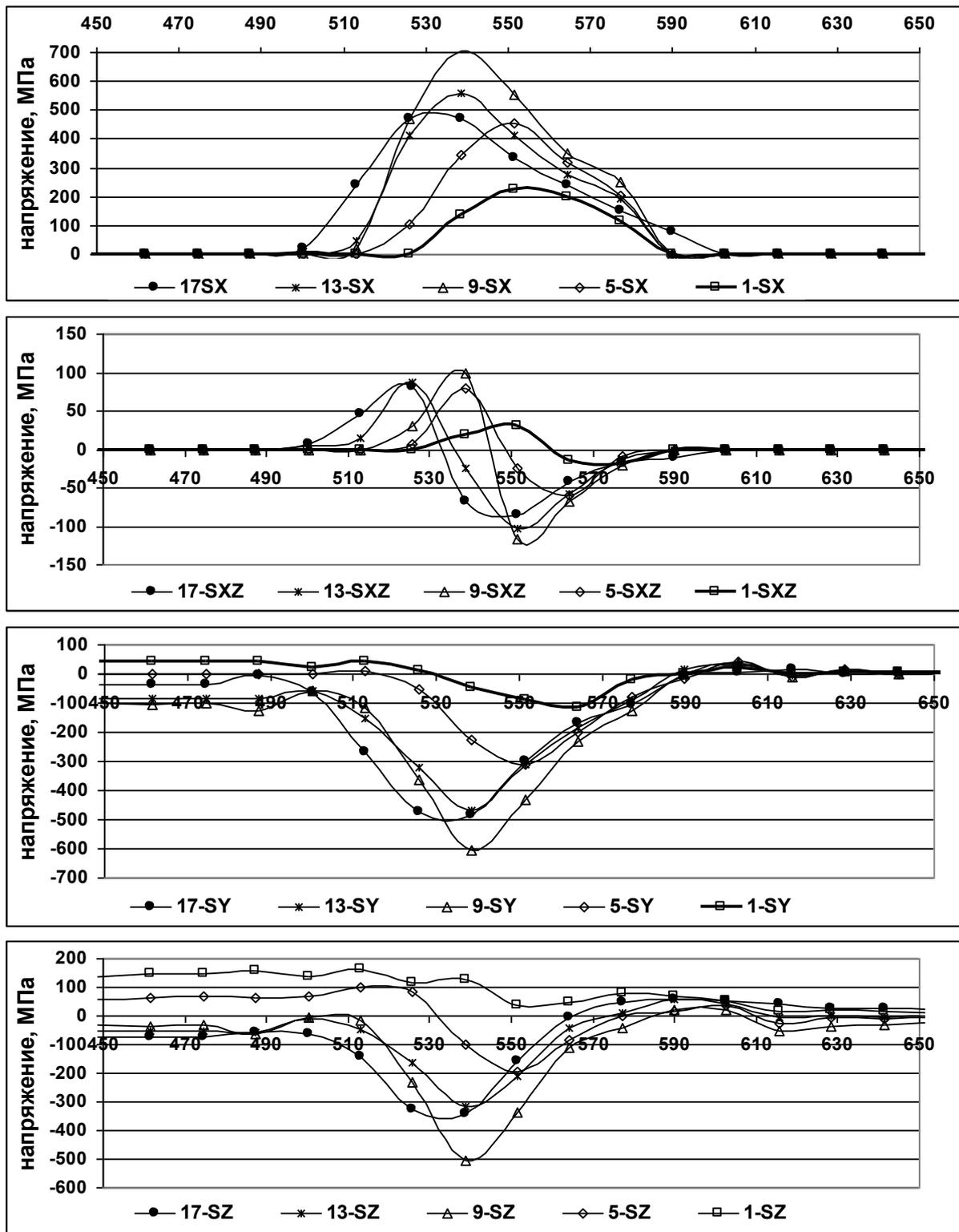


Рис. 3. Графики изменения нормальных – SX, касательных – SXZ, тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений для угла поворота валка 100 градусов для подачи 30 мм.

Эти результаты позволяют оценить величину и закономерности распределения сжимающих и растягивающих напряжений, как вдоль очага деформации, так и по периметру

трубы в зависимости от величины подачи и прогнозировать качество бесшовных горячекатаных труб.

Нормальные напряжения – SX как правило сжимающие, достигающие максимальных значений 760-795 МПа при углах поворота валков 100-130 градусов для подач 10 и 30 мм. В отличие от нормальных напряжений, касательные напряжения – SXZ по длине очага деформации из растягивающих переходят в сжимающие причем максимальные растягивающие 118-124 МПа наблюдаются для подачи 10 мм при углах поворота 90-110 градусов. Для подачи 30 мм максимальное значение растягивающих напряжений, равное 127 МПа, имеет место при угле поворота валка 130 градусов.

Максимальные значения тангенциальных сжимающих напряжений – SY величиной 613-619 МПа имеют место при углах поворота валка 100-110 градусов и подаче 10 мм, а тангенциальные растягивающие напряжения постепенно возрастают вдоль очага деформации и достигают наибольших значений 82-92 МПа при углах поворота валка 120-130 градусов. При подаче гильзы 30 мм уровень тангенциальных напряжений существенно выше и равен 700-770 МПа при углах поворота валка 120-140 градусов также возрастают и тангенциальные растягивающие напряжения до величины 115-136 МПа при углах поворота валка 120-130 градусов.

Продольные напряжения – SZ как по длине очага деформации, так и по периметру трубы могут быть как сжимающие, так и растягивающие: при подаче 10 мм предельные сжимающие напряжения достигают величины 513-549 МПа при углах поворота валка 100-110 градусов, а максимальные продольные растягивающие напряжения величиной 190-220 МПа имеют место при углах поворота валка 90-100 градусов. При подаче гильзы в валки величиной 30 мм продольные напряжения существенно возрастают: сжимающие до величины 660-677 МПа при углах поворота 110-130 градусов, а растягивающие до величины 187-200 МПа при углах поворота валка 130-140 градусов. Причем наибольшие продольные растягивающие напряжения наблюдаются в вершине калибра и в местах выпусков калибра, при выходе трубы из-под гребня валков, что может привести к образованию внешних дефектов (рванин), а также к потере устойчивости тонкостенной трубы в продольном направлении, особенно при больших подачах гильзы в валки.

Возникновение в очаге деформации гильзы напряжений различных знаков наглядно видно на рис. 4, где приведены эпюры тангенциальных – SY и продольных – SZ напряжений в поперечном сечении очага деформации, что является главной причиной образования внешних дефектов.

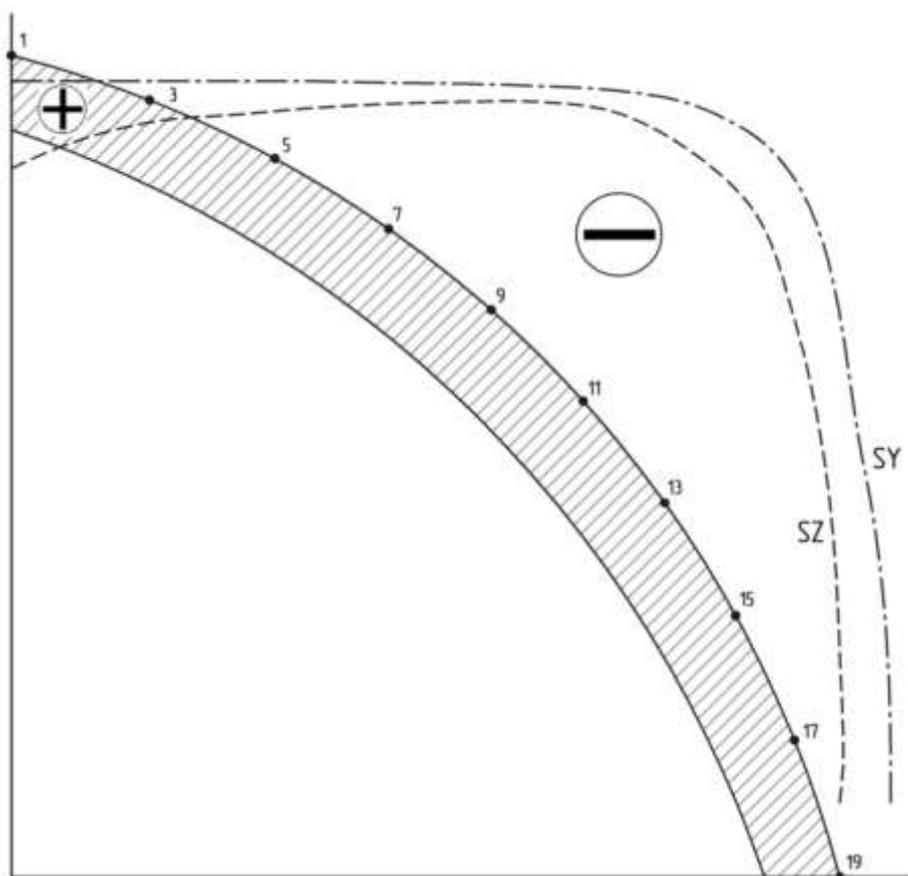


Рис. 4. Эпюры тангенциальных S_Y и продольных S_Z напряжений в поперечном сечении очага деформации гильзы.

Заключение

В результате теоретического исследования процесса пилигримовой прокатки труб определен уровень и характер распределения нормальных, касательных, тангенциальных и продольных напряжений по длине и периметру мгновенного очага деформации. Установлено, что продольные растягивающие напряжения величиной до 200 МПа являются основной причиной образования дефектов на поверхности труб.

Список литературы:

1. Данченко В.Н. Технология трубного производства / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. М.: Интернет Инжиниринг, 2002. 640 с.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadfem.ru>
3. Мазур В.Л., Хижняк Д.Д. Сопротивление деформации низколегированных сталей // Сталь. 1991. №8. С. 41-43.

А. А. Матушкин, В. В. Терентьев, А. А. Яковлев к.т.н.

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) МАИ
Россия, г. Москва
cadem@mai.ru

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и педагогические кадры инновационной России 2009-2013г.г.» в НОЦ «Двигатели и энергетические установки» Московского авиационного института.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЫХОДНЫХ УСТРОЙСТВ ГТД СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В статье приведен алгоритм подготовки и исследования моделей узлов и элементов ГТД. Представлен опыт разработки экспериментальных моделей выходных устройств ГТД сложной формы при использовании расчётных программ (CAE) для анализа возможности изготовления образцов методом стереолитографии (SLA).

Ключевые слова: выходные устройства, математическое моделирование, CAD моделирование, CAE анализ, быстрое прототипирование, стереолитография.

При создании современного изделия, такого как газотурбинный двигатель (ГТД), широко используются инновационные технологии разработки. В первую очередь это технологии компьютерного проектирования (CAD – системы), системы инженерного анализа (CAE), технологии быстрого прототипирования и аддитивного производства [1].

При разработке конструкции узла во многих случаях необходимо экспериментальное подтверждение выбранного технического решения. Подтверждением может являться как численный эксперимент (в CAE системе), так и модельные и натурные стендовые испытания.

Достоинства численного эксперимента связаны с отсутствием затрат на содержание и использование дорогостоящего стендового оборудования. Но математические модели являются лишь описанием, символьным представлением реальных конструкций, и могут не учитывать часть физических процессов и динамику их протекания.

Проведение натурального эксперимента на реальных объектах является крайне дорогостоящим и поэтому проводится только на этапе доводки изделия и может быть выполнено не в полном объеме для обеспечения оптимальных характеристик.

При проведении модельного эксперимента, имитирующего реальные значения нагрузок и температур, значительные затраты идут на создание модели и возможности регистрирующего оборудования, при том, что в модель скорее всего придется вносить изменения. Широко известно [2, 3], что можно получать экспериментальное подтверждение расчетной модели для CAE системы путем проведения «упрощенного» модельного эксперимента: «холодные» продувки, дозвуковые течения, масштабирование геометрических размеров модели и пр. Соответственно, возможно подготовить «упрощенную» модель [4].

Алгоритм получения конструкторского решения (CAD модели) узла ГТД может выглядеть следующим образом:

1. Проведение предварительных расчетов для определения профиля канала выходного устройства;
2. Разработка выходного устройства с использованием современных CAD систем, и получение его трехмерного облика;
3. Получение облика экспериментальной модели в 3D постановке масштабированием реального устройства;

4. Проведение предварительного газодинамического расчета модели для определения газодинамических нагрузок;
5. Проведение предварительного прочностного расчета модели для определения минимальной толщины стенок с точки зрения прочности;
6. Доводка 3D модели канала выходного устройства с закладкой необходимого дренажа;
7. Изготовление модели выходного устройства SLA методом;
8. Проведение модельного эксперимента;
9. Уточнение математической модели по результатам модельного эксперимента, проведение численного эксперимента.

В примере ниже мы подробнее остановимся на разработке конструкции модели (2-5 пункты данного алгоритма). Для изготовления экспериментальной модели (п.7) выходного устройства ГТД мы предполагаем воспользоваться методом стереолитографии (SLA). Это – аддитивный метод быстрого прототипирования при котором модель послойно выращивается на основе компьютерной 3D-модели, что позволит нам за несколько часов сформировать профили каналов, соответствующие реальным объектам. Одновременно, еще на этапе подготовки модели (п.3), можно заложить дренажные отверстия и каналы для датчиков (п.6).

Спроектированная трехмерная модель пространственного канала выходного устройства для проведения предварительного газодинамического расчета передаётся в пакет FlowVision. Для расчетов используется модель полностью сжимаемого газа, логарифмическое распределение скорости в пограничном слое, стандартную k-ε модель турбулентности. Сетка, используемая при проведении расчетов, и модель выходного сопла представлена на рисунке 1.

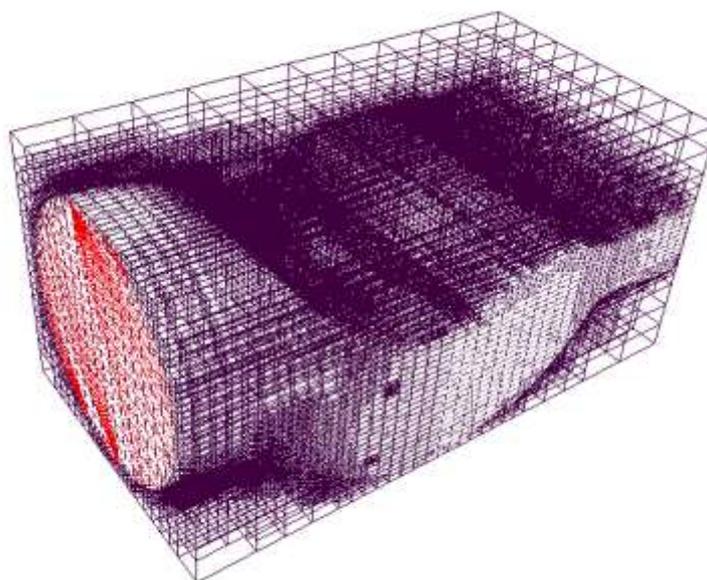


Рис. 1- Расчетная сетка и модель сопла.

По результатам расчетов было получены поле статического давления, осредненный график статического давления представлен на рисунке 2, из которого получаем нагрузки на стенки испытываемого образца.

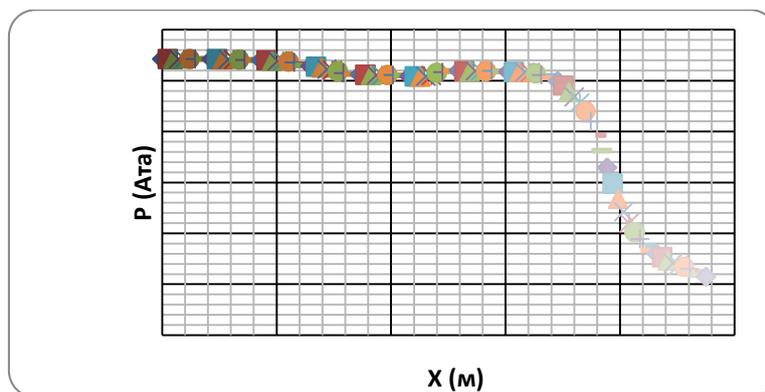


Рис. 2 - График статического давления по тракту выходного устройства.

Далее необходимо оценить прочностные свойства образца для испытаний. Используя CAD модель и результаты ее газодинамического расчета получаем исходные данные для прочностного расчета. Расчёт проводился с помощью пакета NASTRAN в оболочечной постановке, поскольку толщина стенок много меньше остальных геометрических объектов. Расчетная сетка состоит из 24408 узлов и 22956 Qrad 4 элементов. Сетка выполнена автоматически, методом Paver mesh [5].

Граничные условия, полученные на этапе газодинамического расчёта, дополнялись условиями закрепления круглого входа в сопло и заданием наружного давления на стенки

Для изготовления образца для испытаний будет использоваться стереолитографическая установка Viper [6], установленная в ресурсном центре (РЦ МАИ), обеспечивающая послойное выращивание нашей модели с шагом 0.1 мм. В качестве материала предполагается использовать фотополимер Accura 60 Plastic, который имеет модуля Юнга 2800 МПа, коэффициент Пуассона 0.3, материал однородный анизотропный, при этом предел прочности равняется 58МПа. Толщина стенки модели канала выходного устройства устанавливалась в 3 мм, исходя из конструкции каналов дренажа.

Результаты проведения прочностного расчета показаны на рисунке 3 и рисунке 4. Напряжения и перемещения - соответственно.

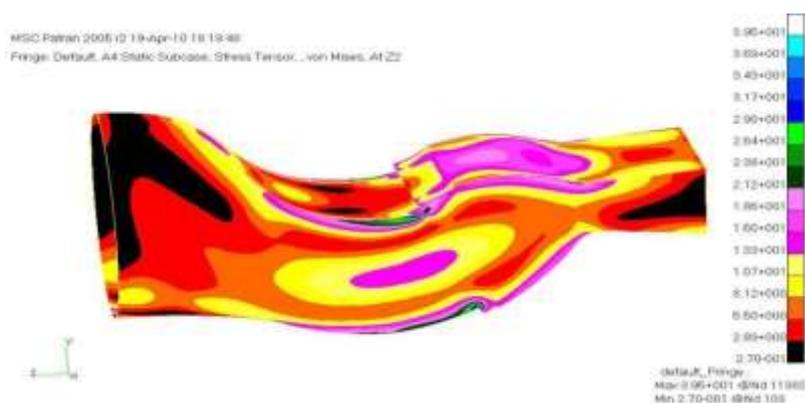


Рис. 3 - Напряжения в модели канала выходного устройства (МПа).

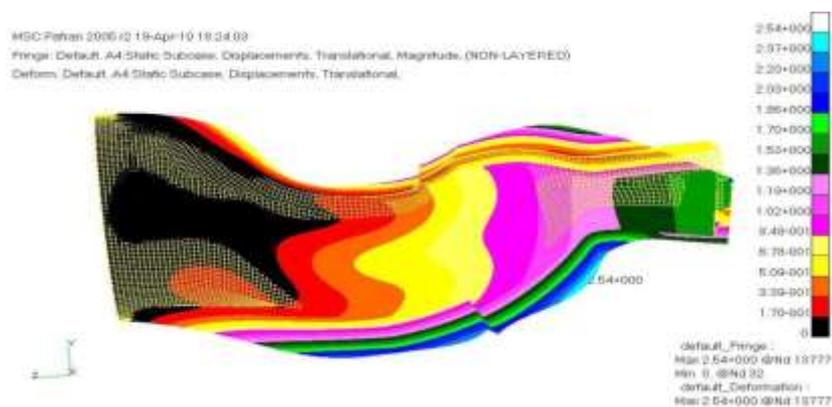


Рис. 4 - Перемещения в модели выходного устройства (мм).

Проведенный расчет показал, что толщина стенки 3 мм удовлетворяет условиям прочности ($\sigma > \sigma_{58} > 39$, запас прочности составляет $k=1,48$).

Следующими этапами подготовки модели является выбор точек дренирования, закладка их в трехмерную модель и собственно изготовление образца [7]. При густой сетке дренирования рекомендуется провести повторный расчет, оценивающий места концентрации напряжений и прочность модели с учетом дренажа. В нашем случае, для разнесенных приемников статического давления, выполненных под трубку внешним диаметром 0.8 мм, проведенной расчетной оценки достаточно для перехода на следующие шаги алгоритма.

Основным преимуществом алгоритма является существенное сокращение времени на подготовку моделей каналов выходных устройств ГТД сложной формы для проведения модельных экспериментов. Проведение упрощенного модельного эксперимента, совместно с численным моделированием прочностных свойств конструкции модели, позволяет в несколько раз снизить затраты на исследование и доводку выходных устройств (п.1,2 и 9 предложенного алгоритма).

За счет последовательно уточняющейся математической модели всего узла увеличивается достоверность, как проектируемого изделия, так и методов численного газодинамического моделирования.

Список литературы:

1. Лаборатория аддитивных технологий// СГАУ им. С.П. Королева: сайт, 2011. URL: http://institute.ssau.ru/struct/deps/pdla/lat/#fast_prot (дата обращения 20.09.2011).
2. Porter J.S., Sargison J.E., Henderson A.D. Design and calibration of a facility for film cooling research. University of Tasmania. Hobart, Tasmania. 2007.
3. Colban V., Thole K.A., Haendler M. Experimental and computational comparisons of fan-shaped film cooling on a turbine vane surface // Journal of Turbomachinery. 2007. Т.129. С.23-31.
4. Crabb D., Durao D.F.G., Whitelaw J.H. A Round Jet Normal to a Crossflow // Journal of Fluids Engineering. 1981. Т. 103. № 1. С. 142-153.
5. Porter J.S., Sargison J.E., Henderson A.D. Design and calibration of a facility for film cooling research. University of Tasmania. Hobart, Tasmania. 2007.
6. MSC.Patran 2010 User Guide.
7. 3D System Inc, Справочное руководство по использованию оборудования стереолитографических машин SLA, p/n 23700-M57-00.
8. Монахова В.П., Терентьев В.В., Яковлев А.А. Проектирование узлов ГТД при возможности использования стереолитографии для получения модельных образцов // Вестник УГАТУ. 2010. Т14. №3(38) С.144-150.

А. О. Махорин, к.т.н.

Московский авиационный институт (государственный технический университет)
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики
Россия, г. Москва
mao@gnu.org

СМЕШАННО-ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ

Рассмотрена задача планирования периодического технического обслуживания (ПТО) пассажирских самолетов, выполнена формализация этой задачи и дана ее формулировка в терминах модели смешанно-целочисленного линейного программирования (СЦЛП), что позволяет использовать для решения указанной задачи существующие эффективные методы класса ветвей и отсечений.

Ключевые слова: планирование технического обслуживания самолетов, смешанно-целочисленное линейное программирование, методы ветвей и отсечений.

1. Введение

Одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед авиакомпаниями, является управление парком располагаемых воздушных судов (ВС). При этом основное место занимает задача определения времени вывода каждого из ВС на периодическое техническое обслуживание (ПТО). Директивные документы, регламентирующие сроки и состав ПТО (например, [1] для отечественных ВС, [2] для ВС зарубежного производства), а также интенсивность эксплуатации ВС с точки зрения использования таких ресурсов, как календарное время, число полетных часов, число циклов "взлет-посадка", число запусков двигателя и др., определяемая на основе усредненных ретроспективных данных для каждого типа ВС, позволяют установить наиболее поздние сроки проведения ПТО. Эти сроки в некотором смысле являются наиболее подходящими, поскольку если ПТО начинать раньше указанных сроков, то ресурсы ВС на момент начала работ будут выработаны не полностью, а значит, в долгосрочной перспективе общее количество времени, затраченное на ПТО, увеличится. Однако, существующие в авиакомпаниях ограничения на ресурсы для выполнения работ ПТО, а также ряд других ограничений, связанных с нецелесообразностью вывода ВС на ПТО в указанные сроки (например, в период летных отпусков и т. п.) приводят к необходимости отыскания компромиссных решений.

Существующая практика решения рассматриваемой задачи сводится в основном к формированию небольшого числа возможных планов с использованием простейших эвристических алгоритмов и последующему выбору одного из вариантов. Очевидно, что такой подход не может обеспечить высокого качества планирования, поскольку данная задача относится к трудным задачам комбинаторной оптимизации [3, 4], для которых эвристические алгоритмы в общем случае дают очень плохие решения. Кроме того, при использовании эвристических алгоритмов планирования затруднительно или невозможно включать в задачу дополнительные ограничения, которые могут появляться в конкретных случаях.

В данной работе предлагается решать задачу планирования ПТО как задачу смешанно-целочисленного линейного программирования (СЦЛП) [5], где непрерывные переменные используются для представления плановых времен начала работ, а двоичные переменные —

для представления частичного порядка на множестве работ и отображения множества работ в множество дизъюнктивных ресурсов, т. е. ресурсов, которые в каждый момент времени могут быть выделены не более, чем одному ВС (например, ангаро-места).

Предлагаемый подход представляется весьма целесообразным по следующим причинам:

1) класс СЦЛП-задач является очень обширным, что позволяет естественным образом включать в используемую модель дополнительные ограничения, которые отсутствуют в базовой модели, а также использовать различные виды целевых функций;

2) в настоящее время для решения СЦЛП-задач существуют достаточно эффективные численные методы, к которым относится метод ветвей и отсечений [5], представляющий собой комбинированный вариант метода ветвей и границ и метода отсечений;

3) как правило, на практике достаточно ограничиться субоптимальными решениями, поскольку вследствие комбинаторной природы рассматриваемой задачи отыскание математически точного оптимума может потребовать слишком времени. Поэтому техника ветвей и границ оказывается в данном случае вполне адекватной, так как для каждого субоптимального решения эта техника обеспечивает также получение соответствующей границы, которая позволяет оценить, насколько очередное найденное решение хуже точного оптимума.

Апробация предлагаемого подхода при решении практических вариантов задачи планирования ПТО с использованием реальных исходных данных показала его работоспособность и эффективность.

2. Формализация задачи

Основным источником исходных данных для рассматриваемой задачи являются директивные документы, регламентирующие сроки и состав ПТО в зависимости от текущего состояния конкретного ВС (самолета). Примером такого документа может служить "Maintenance Planning Document (MPD)" для самолетов фирмы Airbus типа A318, A319, A320 и A321 [1]. В этом документе описание отдельной работы имеет следующий формат (в скобках для примера приведены конкретные данные):

шифр работы (731000-C1-1);

зона (435, 445);

описание (clean/replace fuel filter element — очистить или заменить элемент топливного фильтра);

пороговый интервал (1С);

численность персонала (1 человек);

трудозатраты (0.30 человеко-часов).

С точки зрения планирования работ основной информацией являются пороговые интервалы (threshold intervals), которые регламентируют наиболее поздние сроки выполнения указанных работ относительно момента их последнего выполнения. Например, интервал 1С означает, что соответствующую работу следует выполнять с периодичностью не более 15 календарных месяцев, 12000FH — с периодичностью не более 12000 полетных часов, 7400FC — с периодичностью не более 7400 циклов "взлет-посадка", и т. д. Эта информация позволяет, зная текущее состояние конкретного самолета, определить наиболее поздние сроки начала каждой работы. Следует отметить, что общее количество отдельных работ, указанных в регламенте, очень велико (например, документ [2] включает около 45 000 работ). Поэтому для уменьшения накладных расходов и упрощения планирования отдельные работы группируются в пакеты работ, которые служат, таким образом, элементарными единицами планирования.

Задача планирования ПТО состоит в определении плановых сроков начала каждого пакета работ с учетом доступности всех ресурсов (например, ангаро-мест), необходимых для выполнения отдельной работы, а также других директивных требований.

Определим следующие исходные данные для рассматриваемой задачи:

T — продолжительность периода планирования (обычно 1 год);

J — множество работ, которые должны быть выполнены в течение заданного периода планирования (здесь и далее "работа" является элементарной неделимой единицей планирования, соответствующей пакету работ);

d_j — длительность работы $j \in J$ в календарных днях;

u_j — наиболее поздний срок начала работы $j \in J$ в календарных днях от начала периода планирования, $0 \leq u_j \leq T$. Данные величины определяются в результате прямого расчета и в дальнейшем служат верхними границами для плановых сроков начала работ;

H — множество ангаро-мест.

С формальной точки зрения планирование множества работ J представляет собой отыскание отображения

$$x: J \rightarrow [0, T], \quad (1)$$

где x_j есть плановый срок начала работы $j \in J$ в календарных днях от начала периода планирования, $0 \leq x_j \leq u_j$, а также отображения

$$\omega: J \rightarrow H, \quad (2)$$

где $\omega(j) = h$ означает, что для выполнения работы $j \in J$ используется ангаро-место $h \in H$.

Каждое ангаро-место $h \in H$ представляет собой дизъюнктивный ресурс, т. е. в каждый момент времени отдельное ангаро-место может быть отведено не более, чем одной работе. Поэтому необходимым условием реализуемости плана является следующее условие:

$$\forall i, j \in J : [i \neq j] \& [\omega(i) = \omega(j)] \supset p(i, j), \quad (3)$$

$$p(i, j) = [x_i + d_i \leq x_j] \vee [x_j + d_j \leq x_i], \quad (4)$$

которое означает, что если две различные работы i и j используют одно и то же ангаро-место, то работы i и j не должны пересекаться во времени (предикат $p(i, j)$ означает, что либо работа i должна предшествовать работе j , либо работа j должна предшествовать работе i).

Помимо необходимого условия (3) в задаче могут присутствовать дополнительные условия, связанные с использованием ангаро-мест. Рассмотрим конкретный пример. Пусть отдельный ангар имеет два ангаро-места g и h , причем эти два места могут использоваться независимо друг от друга лишь для "небольших" самолетов (типа А320). Однако, если ангаро-место g занято "большим" самолетом (типа А330), то ангаро-место h не может быть занято другим "большим" самолетом из-за ограниченной вместимости ангара в целом. Пусть $J_B \subseteq J$ — множество работ, связанных с ПТО "больших" самолетов. Тогда соответствующее условие можно записать следующим образом:

$$\forall i, j \in J_B : [i \neq j] \& [\omega(i) = g] \& [\omega(j) = h] \supset p(i, j). \quad (5)$$

Из данного примера можно видеть, что основную роль при записи дополнительных условий играет предикат $p(i, j)$.

Понятно, что может существовать много решений (планов) рассматриваемой задачи, удовлетворяющих заданным условиям. В этом случае выбор наилучшего решения можно осуществить, если задать некоторый критерий предпочтения. Примером может служить критерий, когда предпочтение отдается плану, где работы начинаются как можно позже (в идеале $x_j = u_j$). Обоснованием в пользу выбора такого критерия может служить обстоятельство, что если работы начинать слишком рано, то ресурсы самолетов на момент начала работ будут выработаны не полностью, а значит, общее количество времени, затраченное на ПТО в долгосрочной перспективе будет больше, поскольку пороговые интервалы не зависят от сроков выполнения соответствующих работ.

3. Смешанно-целочисленная модель

В данном разделе представлено сведение задачи планирования ПТО к задаче смешанно-целочисленного линейного программирования (СЦЛП), что необходимо для практического решения этой задачи с использованием численных методов смешанно-целочисленной оптимизации (например, методом ветвей и отсечений [5]). Основное внимание здесь уделяется наиболее подходящей параметризации множества решений, которая позволила бы эффективно описывать все дополнительные условия, которые могут встретиться на практике.

Отображение (1) можно описать вектором непрерывных ограниченных переменных $x = (x_j)$, где x_j есть плановый срок начала работы $j \in J$ относительно начала периода планирования. В соответствии с постановкой задачи эти переменные должны удовлетворять следующим двусторонним ограничениям-неравенствам:

$$0 \leq x_j \leq u_j \quad \forall j \in J, \quad (6)$$

где u_j — заданный наиболее поздний срок начала работы j относительно начала периода планирования.

Рассмотрим далее целочисленное описание предиката (4). Введем для этого двоичные переменные y_{ij} , $i, j \in J$, где $y_{ij} = 1$ означает, что работа i должна предшествовать работе j , а $y_{ij} = 0$ — что соответствующее ограничение отсутствует:

$$y_{ij} = 1 : x_i - x_j \leq d_i \quad (7)$$

$$y_{ij} = 0 : x_i - x_j < +\infty \quad (8)$$

Тогда предикат (4) можно определить следующим образом:

$$p(i, j) = [y_{ij} = 1] \vee [y_{ji} = 1]. \quad (9)$$

Используя стандартную технику "большого M ", заменим избыточное ограничение-неравенство в условии (8) следующим эквивалентным (избыточным) ограничением:

$$x_i - x_j \leq M, \quad (10)$$

где $M \geq \sup(x_i - x_j)$. Из (6) следует, что:

$$\sup(x_i - x_j) = \sup x_i - \inf x_j = u_i - 0 = u_i, \quad (11)$$

поэтому в качестве M можно взять u_i . Таким образом, условие (8) примет следующий вид:

$$y_{ij} = 0 : x_i - x_j \leq u_i. \quad (12)$$

Переменные y_{ij} являются двоичными, поэтому дизъюнктивные условия (7) и (12) эквивалентны условию

$$x_i - x_j \leq d_i y_{ij} + u_i (1 - y_{ij}),$$

которое после приведения к стандартному виду будет следующим:

$$x_i - x_j + (u_i - d_i) y_{ij} \leq u_i \quad \forall i, j \in J. \quad (13)$$

Не трудно заметить, что указанные двоичные переменные образуют квадратную матрицу $Y = (y_{ij})$, определяющую отношение частичного порядка на множестве работ J . Действительно:

1) $y_{jj} = 0$ для всех $j \in J$, так как никакая работа не может предшествовать самой себе (иррефлексивность);

2) если $y_{ij} = 1$ и $y_{jk} = 1$, то $y_{ik} = 1$ для всех $i, j, k \in J$, так как если работа i должна предшествовать работе j и работа j должна предшествовать работе k , то работа i должна предшествовать работе k (транзитивность).

Следствием свойств иррефлексивности и транзитивности является свойство асимметричности: если $y_{ij} = 1$, то $y_{ji} = 0$ для всех $i, j \in J$. Это свойство позволяет уменьшить число двоичных переменных y_{ij} в два раза, так как $y_{ij} = 1 - y_{ji}$.

Следует подчеркнуть, что частичный порядок на множестве работ, определяемый переменными y_{ij} , является лишь необходимым в том смысле, что фактический порядок выполнения работ должен быть подмножеством этого частичного порядка.

Перейдем теперь к целочисленному описанию отображения (2). Введем матрицу двоичных переменных (z_{jh}) , $j \in J$, $h \in H$, где $z_{jh} = 1$ означает, что работа j использует ангаро-место h , а $z_{jh} = 0$ — что работа j не использует ангаро-места h . Стандартная система ограничений-равенств, которой должна удовлетворять любая двоичная матрица, определяющая отображение, имеет следующий вид:

$$\sum_{h \in H} z_{jh} = 1 \quad \forall j \in J. \quad (14)$$

Применительно к рассматриваемой задаче это условие означает, что для каждой работы должно быть выделено ровно одно ангаро-место.

Используя двоичные переменные (y_{ij}) и (z_{jh}) , основное условие (3) с учетом (9) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} [z_{ih} = 1] \& [z_{jh} = 1] \supset [y_{ij} = 1] \vee [y_{ji} = 1] & \Leftrightarrow \\ \neg([z_{ih} = 1] \& [z_{jh} = 1]) \vee ([y_{ij} = 1] \vee [y_{ji} = 1]) & \Leftrightarrow \\ (\neg[z_{ih} = 1] \vee \neg[z_{jh} = 1]) \vee ([y_{ij} = 1] \vee [y_{ji} = 1]) & \Leftrightarrow \\ [z_{ih} = 0] \vee [z_{jh} = 0] \vee [y_{ij} = 1] \vee [y_{ji} = 1]. & \end{aligned}$$

С учетом двоичности переменных данное логическое условие можно записать в виде следующего линейного неравенства типа "покрытие":

$$(1 - z_{ih}) + (1 - z_{jh}) + y_{ij} + y_{ji} \geq 1$$

или окончательно

$$z_{ih} + z_{jh} - y_{ij} - y_{ji} \leq 1 \quad \forall i, j \in J, \forall h \in H. \quad (15)$$

Суммируя все вышеизложенное, получим следующую базовую смешанно-целочисленную модель для рассматриваемой задачи:

$$\begin{aligned} & \text{минимизировать} \\ s = \sum_{j \in J} (u_j - x_j) & \quad (16) \end{aligned}$$

при ограничениях общего вида

$$x_i - x_j + (u_i - d_i)y_{ij} \leq u_i \quad \forall i, j \in J \quad (17)$$

$$\sum_{h \in H} z_{jh} = 1 \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$z_{ih} + z_{jh} - y_{ij} - y_{ji} \leq 1 \quad \forall i, j \in J, \forall h \in H \quad (19)$$

и ограничениях на переменные

$$0 \leq x_j \leq u_j \quad \forall j \in J \quad (20)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in J \quad (21)$$

$$z_{jh} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, \forall h \in H \quad (22)$$

Данная модель является базовой, поскольку она содержит все необходимые условия, которым должен удовлетворять любой план работ, но не включает возможные

дополнительные (специфические) условия. Предполагается, однако, что все дополнительные условия могут быть выражены в терминах переменных x_j , y_{ij} и z_{jh} .

4. Практическая апробация модели

Для практической апробации модели, рассмотренной в предыдущем разделе, было выполнено решение нескольких вариантов задачи планирования ТО с использованием реальных исходных данных.

Все варианты задач имели следующие характеристики:

длительность периода планирования $T = 365$ дней (1 год);

общее число работ $|J| = 68$;

длительность работ (d_j) — от 7 до 42 дней;

число ангаро-мест $|H| = 6$;

типы самолетов — A319, A320, A321, A330, Boeing 767, Ил 96.

Кроме основных ограничений (17)–(22) в модель были включены ограничения, определяющие дополнительные условия по использованию ангаро-мест в зависимости от типа самолетов.

Для проведения численных расчетов был использован метод ветвей и отсечений, реализованный в пакете линейного и целочисленного программирования ILOG CPLEX 7.5 [6].

Так как общее число ограничений-неравенств (17) и (19) существенно больше числа переменных, то в любом базисном решении большая часть этих ограничений не активна. Поэтому с целью повышения эффективности процесса решения задачи была использована техника генерации строк: первоначально в модель включались только ограничения (18) и (20)–(22), а отдельные нарушенные ограничения (17) и (19) генерировались и добавлялись в подзадачи по мере необходимости.

Как уже было отмечено ранее, рассматриваемая задача является трудной с вычислительной точки зрения из-за своей комбинаторной природы и достаточно большой размерности. Поэтому, чтобы увеличить скорость сходимости, также использовалась техника генерации отсечений специфических классов для отношения частичного порядка (вместе со стандартными отсечениями, реализованными в пакете CPLEX).

Время расчета одного варианта в зависимости от дополнительных ограничений составляло в среднем от 10 мин до нескольких часов на персональном компьютере с процессором Intel Pentium 3GHz.

Список литературы:

1. Регламент технического обслуживания самолета ИЛ-96-300 (оперативные и периодические формы).— АК им. Ильюшина, 1994.
2. A318/A319/A320/A321 MPD: Maintenance Planning Document.— Airbus Customer Services, France, 2003.
3. Теория расписаний и вычислительные машины. Под ред. Э. Г. Коффмана.— М.: Наука, 1984.
4. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи.— М.: Мир, 1982.
5. L. A. Wolsey. Integer Programming.— John Wiley & Sons, 1998.
6. ILOG CPLEX 7.5. Reference Manual.— ILOG S. A., France, 2005.

Е. Н. Минаев, д.т.н.

Саратовский государственный технический университет
Физико-технический факультет, кафедра физики
Россия, г. Саратов
emin@sstu.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СИСТЕМЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ СМЕШАННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Представлен метод расчета параметров электрического поля в системе катодной защиты от коррозии плоских металлических поверхностей, контактирующих с агрессивными жидкими средами, который позволяет свести смешанную краевую задачу для потенциала с граничными условиями второго и третьего рода к третьей краевой задаче. Метод позволяет рассчитать распределение потенциала по защищаемой поверхности, если задан ток на аноде. Представлены результаты расчёта для стали в морской воде.

Ключевые слова: электрическое поле, расчёт, коррозия, катодная защита

Одним из эффективных способов понижения коррозии металлов является катодная поляризация [1]. Сущность катодной защиты металла заключается в преднамеренном понижении приэлектродного потенциала защищаемой поверхности. Технически она осуществляется за счёт подключения металлической поверхности к «минусу» источника постоянного тока. Организация катодной защиты имеет два аспекта. Первый аспект (электрохимический) заключается в определении потенциала приэлектродного слоя в данной точке защищаемой поверхности и, соответственно, плотности внешнего тока на границе металл электролит в этой точке, которые обеспечили бы понижение скорости коррозии до приемлемых значений. Поскольку существует не одно значение защитного потенциала, а некоторый интервал, нужно определить зависимость изменения скорости коррозии от потенциала в этом интервале. Данный вопрос решается на основе законов электрохимической кинетики [2]. Электрохимический аспект проблемы рассмотрен нами в работах [3,4], в них представлены метод определения скорости коррозии при катодной поляризации, а также защитные потенциалы в типичных условиях эксплуатации.

Второй аспект организации катодной защиты – математический. Поскольку реальные металлические конструкции имеют протяжённые размеры, наблюдается значительная неравномерность распределения потенциала в растворе и по поверхности металла, то есть система анод – раствор – защищаемая поверхность (катод) имеет рассредоточенные параметры. По мере увеличения расстояния от участка защищаемой поверхности до анода, потенциал уменьшается и может оказаться недостаточным. Возникает вопрос о радиусе действия анода. Расчёт распределения потенциала сводится к решению стационарного дифференциального уравнения в частных производных. В РФ вопросы расчёта электрического поля применительно к прогнозированию коррозии и определению характеристик систем защиты были рассмотрены в работах Ю.Я. Иоссея, Г.Э. Клёнова, Э.С. Кочанова и др. [5,6].

В системе катодной защиты по ширине анода задана плотность тока (граничные условия второго рода), а по ширине защищаемой поверхности (катода) – линейная зависимость между потенциалом и плотностью тока (граничные условия третьего рода). Требуется найти распределение плотности тока на катоде. Таким образом, краевая задача

является смешанной. В литературе отсутствуют сведения об аналитических методах её решения. В данной работе автор предлагает приближённый метод решения этой задачи.

Рассмотрим плоскую поверхность, на которой размещена система периодически повторяющихся протяжённых полосовых анодов шириной порядка несколько сантиметров каждый. Над поверхностью расположен неограниченный объем жидкости. Пусть на аноде $0 < x < x_1$ задана плотность тока j_a . Учитывая малую ширину анода, а также высокую электропроводность коррозионных сред, в которых используется катодная защита, j_a можно считать постоянной. На протяжённом катоде $x_1 < x < l$ (l - половина расстояния между соседними анодами) задана линейная связь между потенциалом φ и плотностью тока j . За точку отсчёта потенциала на катоде примем его собственный коррозионный потенциал в отсутствии внешнего поля. Тогда краевая задача имеет вид

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad 0 < x < l, \quad 0 < y < \infty, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varphi(0, y)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \varphi(l, y)}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} = j_a, \quad y = 0, \quad 0 < x < x_1, \quad (3)$$

$$\varphi - \alpha \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0, \quad y = 0, \quad x_1 < x < l, \quad (4)$$

где α - удельная поляризуемость металла в растворе, λ - удельная электропроводность жидкости. Преобразуем формально условие (3), домножив слева и справа на α и прибавив потенциал

$$\varphi - \alpha \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\alpha j_a + \varphi, \quad y = 0, \quad 0 < x < x_1. \quad (5)$$

Учтём, что ввиду малости ширины анода, распределение потенциала на нём можно заменить средним значением

$$\varphi \approx \frac{1}{\Delta x} \int_0^{x_1} \varphi(x, 0) dx. \quad (6)$$

В этом состоит приближённость решения. Если данное условие выполняется недостаточно точно, разобьём анод на два или три участка меньшей ширины. Перепишем граничные условия с учётом проделанных преобразований

$$\varphi - \alpha \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \begin{cases} C & 0 < x < x_1, \quad y = 0 \\ 0, & x_1 < x < l, \quad y = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

$$C = -\alpha j_a + \frac{1}{\Delta x} \int_0^{x_1} \varphi(x, 0) dx, \quad \Delta x = x_1. \quad (8)$$

Будем решать данную третью краевую задачу так, как-будто константа C известна, и в процессе решения получим уравнение для её определения. Применим к задаче (1), (2), (7) косинус-преобразование

$$\overline{\varphi}_k(y) = \int_0^l \varphi(x, y) \cos\left(\frac{k\pi}{l}x\right) dx, \quad (9)$$

$$\varphi(x, y) = \frac{\bar{\varphi}_0}{l} + \frac{2}{l} \sum_{k=1}^{\infty} \bar{\varphi}_k(y) \cos\left(\frac{k\pi}{l}x\right). \quad (10)$$

Тогда уравнение (1) преобразуется в обыкновенное дифференциальное уравнение для изображения $\bar{\varphi}_k(y)$

$$\frac{d^2 \bar{\varphi}_k}{dy^2} - \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \bar{\varphi}_k = 0, \quad 0 < y < \infty, \quad (11)$$

решение которого с учётом условий на бесконечности ($y \rightarrow \infty, \bar{\varphi}_k \neq \infty$) имеет вид

$$\bar{\varphi}_k(y) = A_k \exp\left(-\frac{k\pi}{l}y\right). \quad (12)$$

Применим интегральное преобразование к граничному условию (7)

$$\bar{\varphi}_k - \alpha\lambda \frac{d\bar{\varphi}_k}{dy} = C \frac{l}{k\pi} \sin \frac{k\pi}{l} x_1, \quad (13)$$

$$A_k = C \frac{l}{\pi} \frac{\sin \frac{k\pi}{l} x_1}{(1 + \alpha\lambda \frac{k\pi}{l})k}. \quad (14)$$

Перейдём к определению $\bar{\varphi}_0$. Применим косинус-преобразование к граничному условию (7), получим

$$\int_0^l \varphi(x, 0) dx - \alpha\lambda \int_0^l \frac{\partial \varphi(x, 0)}{\partial y} dx = C x_1, \quad (15)$$

$$\bar{\varphi}_0 / l = C x_1 / l. \quad (16)$$

Возвращаясь от изображения к потенциалу, запишем его распределение по границе $y = 0$

$$\varphi(x, 0) = C \left\{ \frac{x_1}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{k\pi}{l}x_1\right) \cos\left(\frac{k\pi}{l}x\right)}{(1 + \alpha\lambda \frac{k\pi}{l})k} \right\}. \quad (17)$$

Вычисляя интеграл в выражении (8), найдём уравнение для определения C

$$C = -\alpha j_a + C \left\{ \frac{x_1}{l} + \frac{2l}{\pi^2 x_1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2\left(\frac{k\pi}{l}x_1\right)}{(1 + \alpha\lambda \frac{k\pi}{l})k^2} \right\}. \quad (18)$$

Определив C и подставляя его в (17), найдём распределение потенциала на поверхности и далее, используя граничное условие (4), рассчитаем распределение плотности тока на катоде.

Рассмотрим пример расчёта. Пусть поверхность из нелегированной стали контактирует с концентрированной морской водой при температуре 120 градусов Цельсия. По данным [7] : удельная электропроводность воды в этих условиях – $19.10 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$,

усреднённая удельная поляризуемость стали - 0.068 Ом м^2 , минимальная защитная плотность тока на катоде – 0.95 А / м^2 . Пусть половина расстояния между соседними анодами – 2.8 м, ширина анода – 0.1 м. Для осуществления катодной защиты на аноде задан ток, с плотностью – 60 А / м^2 . Расчёт показывает, что в точке $x = 2.7 \text{ м}$, плотность катодного тока составляет 1.22 А / м^2 . Таким образом, данный анодный ток обеспечивает защиту по всей поверхности металла.

Список литературы:

1. Бекман В. Катодная защита от коррозии/ В. Бекман, В. Швенк. -М.:Металлургия, 1984.- 281с.
2. Скорчеллетти В.В. Теоретические основы коррозии металлов.- Л.: Химия, 1973.- 264с
3. Минаев Е.Н. Электрохимический метод определения скорости растворения металла при его катодной поляризации //Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010.№3(48), Вып.3.-Саратов, 2010-С.79-88.
4. Минаев Е.Н. Электрохимическая защита металла от коррозии //Техногенная и природная безопасность: сб. тр.1 Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 1-3 февраля 2011.-Саратов: ИЦ Наука, 2011- С.164-167.
5. Иоссель Ю.Я. Вопросы расчёта и моделирования электрохимической антикоррозионной защиты/Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский.- Л.: Судостроение, 1965.- 428 с.
6. Иоссель Ю.Я. Расчёт и моделирование контактной коррозии судовых конструкций/ Ю.Я. Иоссель, Г.Э. Клёнов, Р.А. Павловский. -Л.: Судостроение, 1979.- 297 с.
7. Минаев Е.Н. Исследование электрических полей при катодной защите морской техники/Е.Н. Минаев, Г.П. Турмов//Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта:сб. науч. тр. Вып. 37.- Владивосток :ДВГТУ, 1996.-С.3-7.

В. В. Михайлов к.т.н., С. И. Рощина к.т.н., П. Б. Шохин

Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Россия, г. Владимир
rsi3@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРЫ ПОЛЗУЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Представлены результаты экспериментального определения меры ползучести по данным длительных испытаний армированных и неармированных образцов.

Ключевые слова: мера ползучести, армированная древесина, длительные испытания, изгиб, внецентренное сжатие.

При расчете изгибаемых и внецентренно сжатых конструкций необходимо учитывать ползучесть древесины. Мера ползучести (удельная относительная деформация ползучести по [2]) характеризует свойства материала и используется в известных теориях ползучести.

Опытное определение меры ползучести $S(t)$ для армированной и неармированной древесины выполнялось по результатам длительных испытаний клееных армированных и неармированных моделей балок пролетом 2,25; 3 и 4,5 м; треугольных распорных конструкций пролетом 2,4 м, а также натуральных балок пролетом 6, 12, 18 м.

Прочность древесины образцов определялась испытаниями стандартных образцов. Было испытано 10 серий моделей балок, по три образца в серии и четыре серии треугольных распорных конструкций. Серии отличались процентом армирования, размерами поперечных сечений и уровнем загрузки ($\eta = M_{дл}/M_{вр}$). Относительная высота сечений моделей составляла от 1/15 до 1/22 пролета. Коэффициент армирования находился в пределах 0,0125...0,035. Уровень длительного нагружения составлял по сериям соответственно 0,65; 0,5; 0,35; 0,3.

Арматура клеивалась в пазы клееных заготовок, с использованием эпоксидной композиции. Испытание балок проводилось в 3 этапа: на первом испытывались клееные образцы без армирования ($\mu=0$), на втором этапе армированные модели испытывались длительной нагрузкой от 170 до 420 суток, на третьем этапе балки разгружались и испытывались до разрушения. Балки пролетом 4,5 м испытывались длительной равномерно распределенной нагрузкой на специальном стенде, остальные серии загружались в третях пролета сосредоточенными силами. Влияние степени армирования уточнялось на балках пролетом 3м: четыре серии по три образца в каждой. Серии соответственно имели процент армирования: 0; 1,42; 2,24; 3,27. Влажность древесины лабораторных образцов составляла 9...12 %.

Характерный график роста прогибов дан на рис.1

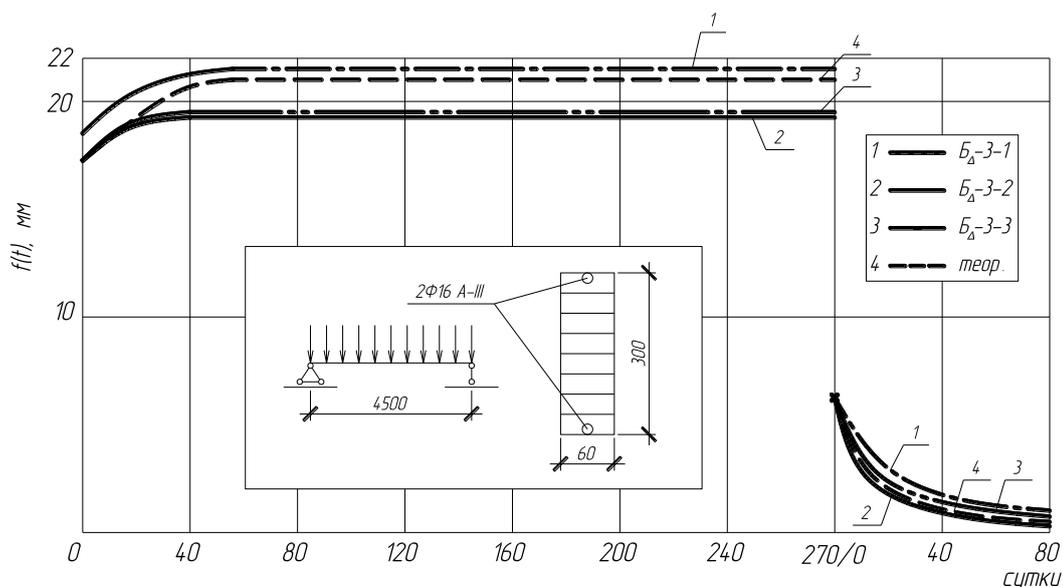


Рис. 1. Изменение прогибов балок пролетом 4,5 м серии БД-3 во времени.

Затухание прироста деформаций происходило на 30-48 сутки при $\eta \leq 0,3$ и на 60-80 сутки при более высоких уровнях нагружения. Результаты длительных испытаний показали рост значений меры ползучести с увеличением уровня начальных напряжений; мера ползучести неармированной древесины балок больше, чем у армированных, то же характерно для натуральных образцов, что следует из опытных кривых мер ползучести (рис.2) Так конечная мера ползучести $s_{\text{кон}}$ сжатоизгибаемых неармированных элементов превышает армированных до 40%.

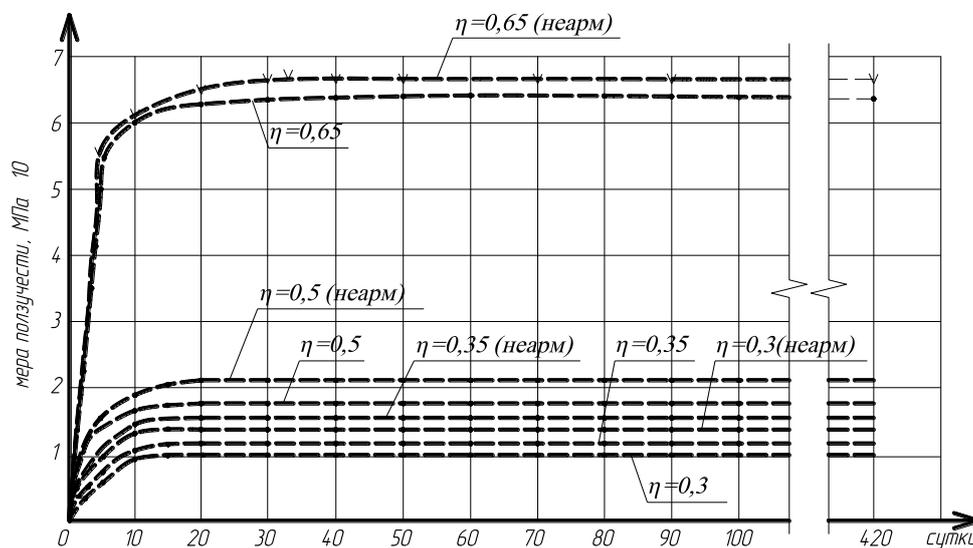


Рис. 2. Экспериментальные значения меры ползучести во времени при разных уровнях нагружения.

Экспериментальные данные на рис.3 указывают на нелинейную связь уровня нагружения и средних значений меры ползучести

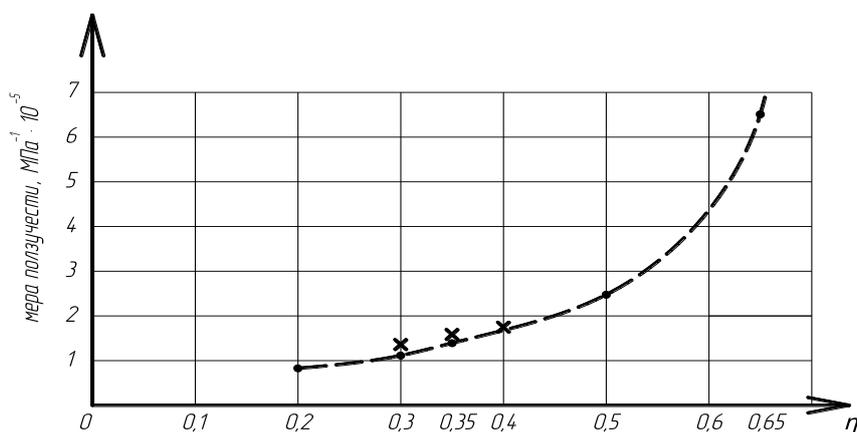


Рис.3. Зависимость меры ползучести армированной древесины по результатам испытания балок (μ :2,1...2,5%) \times – неармированные балки.

Предельные средние краевые деформации на растяжение для симметрично армированных элементов превысили таковые при сжатии в среднем на 10%.

Учитывая практически постоянную прочность древесины (в отличие от бетона) конструкции при регламентируемой нормами эксплуатационной влажности известное выражение С.В. Александровского [2] для меры ползучести

$$C(t, \tau) = \psi(\tau) - \psi(t) \frac{\omega(\tau)}{\omega(t)} + \Delta(\tau)F(t - \tau) \quad (1)$$

упрощается до вида, предложенного Н.Х. Арутюняном и В.М. Бондаренко [3]

$$C(t) = c_{\text{кон}}(1 - e^{-\gamma t}) \quad (2)$$

где $c_{\text{кон}}$ – предельное значение меры простой ползучести ($t \rightarrow \infty$); γ – параметр, определяемый из опытов подбором.

Для древесины армированных симметрично балок значения параметра γ приведены ниже

η	0,2	0,3	0,35	0,5	0,65
γ	0,07	0,12	0,232	0,33	0,18

Значение γ при высоком уровне напряжений соответствует качественному изменению деформирования древесины при напряжениях близких к ее длительному сопротивлению. Теоретические кривые меры ползучести имеют удовлетворительное соответствие экспериментальным.

Формула (2) и опытные значения $C(t)$ позволяют использовать для расчета изгибаемых армированных деревянных конструкций варианты теории упруго-ползучего тела.

В заключении отметим, что изменение $C(t)$ для изгибаемых армированных элементов зависит в известной мере от перераспределения усилий между арматурой и древесиной [1], напряжения в которой снижаются.

Список литературы:

- 1.Рощина С.И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки. Текст докторской диссертации, 2009.
2. Ползучесть и усадка бетона и железобетона. Под ред. С.В. Александровского. НИИЖБ, Стройиздат, М.: 1976, 319 с.
3. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: 1968, 321 с.

Е. А. Никитина

Самарский государственный технический университет, электротехнический факультет кафедры
«Электроснабжение промышленных предприятий»

Россия, г. Самара
nikitinaekaterina63@gmail.com

**Работа выполнена при поддержке гранта для аспирантов ФГБОУ ВПО «СамГТУ»
(Приказ №2/1131 от 18.05.2011г.)**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В ТРЕХФАЗНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В работе представлены результаты исследования системы индукционного нагрева цилиндрической заготовки в трехфазном магнитном поле перед пластической деформацией с целью определения энергетических параметров процесса нагрева.

Ключевые слова: индукционный нагрев, трехфазное магнитное поле, моделирование, цилиндрическая заготовка.

Одним из приоритетных направлений реализации Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2013 годы» обозначены энергетика и энергосбережение. Важнейшим целевым индикатором и показателем Программы обозначено производство усовершенствованной высокотехнологичной продукции за счет создания и развития новых технологий. Одной из актуальных тенденций последних десятилетий является расширение области применения энергоёмких электротехнологических процессов, в частности – процесса индукционного нагрева металлов. Применение индукционного нагрева в условиях интенсификации производства обусловлено рядом причин, среди которых основными можно назвать следующие: малая тепловая инерция установки и её постоянная готовность к работе; простота обслуживания установки; высокая надёжность; малый угар металла; быстрый нагрев; легкость автоматизации процесса; высокая производительность и хорошее использование производственных площадей; улучшение условий труда. Перечисленные преимущества создают благоприятную почву для применения автоматизированных установок индукционного нагрева. Суммарная мощность установок индукционного нагрева металла, действующих в металлургической, машиностроительной и других отраслях, составляет десятки тысяч киловатт и имеет устойчивую тенденцию к росту. Соответственно, растет и себестоимость производимой продукции. Поэтому очень важно на современном этапе наряду с созданием новых энергоэффективных технологий и усовершенствование уже существующих энергосберегающих технологий, определяемое максимальным использованием внутренних резервов самих процессов и установок.

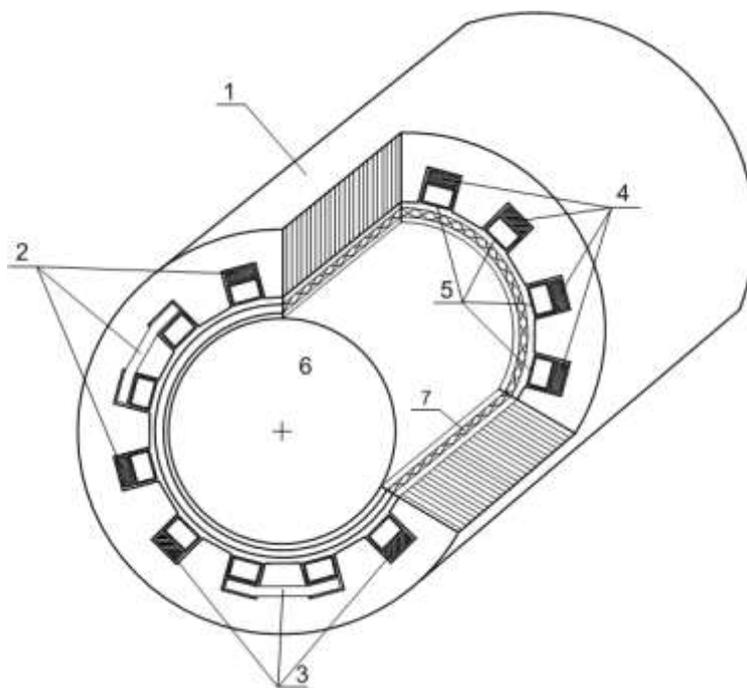
Примером энергоэффективной энергосберегающей установки может служить предлагаемая в работе установка индукционного нагрева крупногабаритных цилиндрических заготовок в трехфазном магнитном поле. Для создания трехфазного магнитного поля используется конструкция индуктора с магнитопроводом в форме статора трехфазной асинхронной машины. В роторе, в качестве которого рассматривается нагреваемая заготовка, тепло выделяется под действием вихревых токов, наведенных вращающимся магнитным

полем обмотки статора. Предлагаемая конструкция позволит обеспечить равномерную загрузку трех фаз сети, повысить коэффициент мощности системы и коэффициент полезного действия, уменьшить влияние краевых эффектов.

Однако, реализация такого метода нагрева требует решения ряда задач, связанных с исследованием электромагнитных и тепловых полей системы, разработкой конструкции индуктора, расчетом и выбором оптимальной схемы трехфазной обмотки.

Целью исследования является разработка индукционной нагревательной индукционной установки с улучшенными энерготехнологическими характеристиками. Сложность задачи заключается в необходимости исследования взаимосвязанных электромагнитных и тепловых процессов, протекающих при индукционном нагреве ферромагнитной заготовки в поперечном трехфазном магнитном поле; учета нелинейной зависимости электрофизических параметров системы «индуктор–металл» от температуры металла, изменяющейся в процессе нагрева в широком диапазоне; учета влияния замкнутого магнитопровода на электрические и тепловые процессы в системе и др. Решение перечисленных выше задач позволит разработать методику расчета интегральных параметров индукционной системы и рекомендации по созданию конструкции новой индукционной системы большой мощности для нагрева ферромагнитных заготовок под пластическую деформацию.

Эскиз индукционного нагревателя представлен на рис.1.



**Рис. 1 - Геометрическая модель исследуемой установки:
1 - индуктор; 2, 3, 4 –катушки индуктора; 5 - медная трубка;
6 - изоляция; 7 - нагреваемый цилиндр; 8 - футеровка**

При решении любой сложной системы принимается ряд общих и специфических допущений, корректность которых зависит от требований к точности модели. К общим допущениям при решении электромагнитной задачи можно отнести: отсутствие запаздывания электромагнитной волны в воздухе; расчет установившихся электромагнитных процессов для величин, меняющихся по гармоническому закону; однозначность зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля; магнитная проницаемость считается действительной величиной (т.к. потери на гистерезис при нагреве ферромагнитного тела много меньше потерь на вихревые токи).

В общем случае процесс нагрева рассматриваемого класса объектов описывается нелинейной взаимосвязанной системой уравнений Максвелла и Фурье [2; 5] соответственно для электромагнитного и теплового полей с соответствующими краевыми условиями:

$$\operatorname{rot}\{H\} = \gamma_{эл} E; \operatorname{rot}\{E\} = -\left\{\frac{\partial B}{\partial t}\right\}; \quad (1)$$

$$\operatorname{div}\{B\} = 0; \operatorname{div}\{E\} = 0;$$

$$c(r, \theta, x, T) \rho(r, \theta, x, T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \left(r \lambda(r, \theta, x, T) \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \\ + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\lambda(r, \theta, x, T) \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(r, \theta, x, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + q_V. \quad (2)$$

Здесь $\{H\}$, $\{E\}$, $\{B\}$ - векторы напряженности магнитного и электрического полей и магнитной индукции; $(\sigma) \gamma_{эл}$ - удельная электропроводимость; T - температура; t - время; $\lambda(r, \theta, x, T)$ - компоненты тензора теплопроводности; q_V - удельная мощность тепловыделения; $c(r, \theta, x, T)$ - удельная теплоемкость; $(\gamma) \rho(r, \theta, x, T)$ - плотность, θ - угловая координата.

Численный расчет электромагнитных полей в сложной составной структуре тел, содержащей ферромагнитные участки магнитной цепи, стальные конструктивные элементы и ферромагнитную загрузку, производился с помощью программного комплекса ELCUT 5.2 Professional [6].

Расчет производился в два этапа. На первом этапе электромагнитная задача решалась как задача нестационарного магнитного поля, которая позволяет рассчитывать поле, возбужденное токами произвольной формы и анализировать переходные процессы. В качестве исходных данных использовались: свойства сред, источники поля, распределенные и сосредоточенные токи, кривые намагничивания ферромагнитных материалов, граничные условия и др. Основными расчетными параметрами являются изменяющиеся во времени магнитный потенциал, магнитная индукция, напряженность поля, токи, энергия магнитного поля, силы Лоренца, моменты, собственные и взаимные индуктивности и потокосцепление.

Задача расчета нестационарного магнитного поля представляет собой общий случай расчета магнитного и электрического полей, вызванных переменными токами в линейной и нелинейной (ферромагнитной) среде, с учетом вихревых токов. Формулировка задачи может быть получена из уравнений Максвелла для векторного магнитного потенциала A ($B = \operatorname{rot} A$, B - вектор магнитной индукции) и скалярного электрического потенциала U ($E = -\operatorname{grad} U$, E - вектор напряженности электрического поля):

$$\operatorname{rot}(\mu^{-1} \cdot \operatorname{rot} A) = j + \operatorname{rot} H_C; \quad (3)$$

$$j = g \cdot E = -g \cdot \operatorname{grad} U - g \cdot \partial A / \partial t, \quad (4)$$

где μ^{-1} - тензор, обратный тензору магнитной проницаемости, g - электропроводность.

В соответствии с уравнением (4) полный ток в проводнике может рассматриваться как сумма стороннего тока, вызванного приложенным извне напряжением, и вихревого тока, индуцированного переменным магнитным полем

$$j = j_{стор} + j_{вихр},$$

где $j_{стор} = -g \cdot \operatorname{grad} U$, $j_{вихр} = -g \cdot \partial A / \partial t$.

Полученные результаты расчета задачи нестационарного магнитного поля являются промежуточными и не позволяют определить интегральные характеристики устройства, необходимые для проектирования конструкции индукционного нагревателя. Наиболее важным результатом расчета нестационарного магнитного поля является получение

зависимостей $\mu(z)$, $\mu(r)$, которые можно дискретно задать в расчетных областях ферромагнитных сред. Для расчета интегральных параметров индукционной системы полученные дифференциальные результаты далее использовались как исходные данные в задаче расчета стационарного магнитного поля переменных токов.

Анализ стационарного магнитного поля переменных токов состоит в расчете электрического и магнитного полей, возбужденных приложенными синусоидально изменяющимися во времени токами.

Задача формулируется как дифференциальное уравнение в частных производных относительно комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала A ($B = \text{rot } A$, B - вектор магнитной индукции). Вектор магнитной индукции предполагается лежащим в плоскости модели (xz или rz), в то время как вектор плотности электрического тока j и векторный магнитный потенциал A ортогональны к нему. Только компоненты j_z и A_z в плоской постановке и j_θ и A_θ в осесимметричном случае отличны от нуля. Обозначим их j и A . Уравнение для плоской задачи запишется в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega g A = -j_{\text{стоп}}, \quad (5)$$

и для осесимметричного случая

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\mu_z} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu_r} \frac{\partial A}{\partial z} \right) - i\omega g A = -j_{\text{стоп}}, \quad (6)$$

где электропроводность g и компоненты тензора магнитной проницаемости μ_x и μ_y (μ_z и μ_r) постоянны в пределах каждого блока модели. Сторонняя составляющая тока $j_{\text{стоп}}$ предполагается постоянной в пределах каждого блока модели в плоской задаче и обратно пропорциональной радиусу ($1/r$) в осесимметричном случае.

Тепловая задача для ротора представляет собой нелинейную задачу нестационарной теплопроводности для той же геометрической модели, что и в электромагнитной задаче. При решении тепловых задач используется уравнение теплопроводности вида [4]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (7)$$

где T - температурное распределение в цилиндре; t - время; $\lambda_x(y, r, z)$ - компоненты тензора теплопроводности (в линейной постановке); $\lambda(T)$ - теплопроводность как функция температуры, представленная кубическим сплайном; $q(T)$ - удельная мощность тепловыделения; в линейной постановке - константа, в нелинейной постановке - задаваемая кубическим сплайном функция температуры; $c(T)$ - удельная теплоемкость, в нелинейном случае это функция температуры, аппроксимированная кубическими сплайнами; ρ - плотность, Π - коэффициент формы, для плоского тела $\Pi = 0$, для цилиндра $\Pi = 1$. В качестве источников тепла задавалась объемная плотность тепловыделения для каждого блока, полученная в результате решения электромагнитной задачи. На внешних и внутренних границах расчетной области могут быть заданы граничные условия первого, второго или третьего рода, соответствующие реальным условиям теплообмена. Для оценки потерь в статоре (магнитопроводе и обмотке индуктора) рассматривалась аналогичная нелинейная задача нестационарной теплопроводности. В качестве источников тепла задавалась объемная плотность тепловыделения в индуктирующем проводе, полученная в результате решения электромагнитной задачи.

Исходная математическая модель стационарной теплопроводности представлена системой дифференциальных уравнений в частных производных вида [3; 4]:

$$a_1 \left[\frac{\partial^2 T_1(r, \theta, x)}{\partial^2 r} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1(r, \theta, x)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1(r, \theta, x)}{\partial^2 x} \right] +$$

$$+ \lambda_1 \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_1(r, \theta, x)}{\partial \theta^2} + \frac{1}{c_1 \gamma_1} W(r, \theta, x) = 0, \quad r \in (0, R_1), \quad x \in (0, L); \quad (8)$$

$$a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2(r, x)}{\partial^2 r} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2(r, x)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2(r, x)}{\partial x^2} \right] = 0, \quad r \in [R_2, R_3] \quad ; \quad (9)$$

$$a_3 \left[\frac{\partial^2 T_3(r, x, \theta)}{\partial^2 r} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3(r, x, \theta)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3(r, x, \theta)}{\partial x^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial^2 T_3(r, x, \theta)}{\partial \theta} \right] + \frac{1}{c_2 \gamma_2} Q_1(\theta) = 0, \quad r \in [R_3, R_4], \quad (10)$$

соответственно для цилиндрической заготовки (8), футеровки (9) и магнитной системы индуктора (10) с граничными условиями на боковой поверхности цилиндрической заготовки

$$-\lambda_1 \frac{\partial T(r, x, \theta)}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha_1 [T_1(R_1, x, \theta) - T_2(R_2, x)] + \varepsilon_1 \left[\left(\frac{T_1(R_1, x, \theta)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2(R_2, x)}{100} \right)^4 \right], \quad (11)$$

на торцевых поверхностях заготовки

$$-\lambda_1 \frac{\partial T(r, x)}{\partial r} \Big|_{x=0} = -\lambda_1 \frac{\partial T(r, x)}{\partial r} \Big|_{x=L} = \alpha_1 [T_1(r, 0) - T_c] + \varepsilon_1 \left[\left(\frac{T_1(r, 0)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right], \quad (12)$$

на торцевых поверхностях футеровки

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(r, x)}{\partial r} \Big|_{x=0} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(r, x)}{\partial r} \Big|_{x=L} = \alpha_2 [T_2(r, 0) - T_c] + \varepsilon_2 \left[\left(\frac{T_2(r, 0)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right],$$

$$r \in [R_2, R_3]. \quad (13)$$

Теплообмен между внешней поверхностью футеровки и статором индуктора описывается граничными условиями четвертого рода, представляющими комбинацию двух уравнений

$$\frac{\lambda_2 \partial T_2(R_3, x)}{\partial r} = \frac{\lambda_3 \partial T_3(R_3, x)}{\partial r}, \quad (14)$$

$$T_2(R_3, x) = T_3(R_3, x). \quad (15)$$

Граничные условия на внешней поверхности магнитопровода

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3(r, x, \theta)}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha_3 [T_3(R_4, x) - T_c(R_4, x)] \quad (16)$$

и на торцевых поверхностях

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3(r, x)}{\partial r} \Big|_{x=0} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(r, x)}{\partial r} \Big|_{x=L} = \alpha_3 [T_3(r, 0) - T_c]. \quad (17)$$

Здесь $T_1(r, x, \theta)$, $T_2(r, x, \theta)$, $T_3(r, x, \theta)$ – температурные распределения соответственно в цилиндрической заготовке, футеровке и магнитопроводе индуктора, r, x, θ – радиальная, аксиальная и угловая координаты системы, $a_1, a_2, a_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материалов заготовки, футеровки и магнитопровода соответственно, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – степень черноты материала загрузки, α – коэффициент теплообмена внешней поверхности магнитопровода с окружающей средой, $R_1,$

R_2, R_3, R_4 – соответствующие радиусы поверхности заготовки, внутренней поверхности футеровки, поверхности сопряжения футеровки и индуктора и внешней поверхности магнитопровода индуктора, $W(r, \theta, x) = F(r) \cdot Q(\theta) \cdot G(x)$ – источники внутреннего тепловыделения в нагреваемой заготовке, $F(r)$, $Q(\theta)$, $G(x)$ – функции распределения мощности внутреннего тепловыделения по радиусу, по окружности и по длине заготовки соответственно, $Q_1(\theta)$ – функция распределения источников тепловыделения в индукторе.

По результатам решения электромагнитной задачи получены функции распределения внутренних источников тепла в нагреваемом цилиндре, которые могут быть аппроксимированы кусочно–непрерывной функцией угловой координаты θ в виде

$$Q(\theta) = \begin{cases} q_1(\theta), & \forall \theta \in [n\theta_2, (n\theta_2 + \theta_1)] \\ q_2(\theta), & \forall \theta \in [(n\theta_2 + \theta_1), n\theta_2] \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (18)$$

где $N = \frac{2\pi}{\theta_1 + \theta_2}$, θ_1, θ_2 – соответственно угловые размеры участков заготовки,

находящихся под индуктирующим проводом и под зубцовой зоной магнитопровода.

Аналогично определяются функции распределения внутренних источников тепла по радиальной координате в виде

$$F(r) = \begin{cases} F_1(r), & \forall r \in [n\theta_2, (n\theta_2 + \theta_1)] \\ F_2(r), & \forall r \in [(n\theta_2 + \theta_1), n\theta_2] \end{cases} \quad (19)$$

Ниже приведены некоторые результаты исследования процесса индукционного нагрева стальной ферромагнитной цилиндрической заготовки в индукторе с трехфазным магнитным полем. Параметры системы: диаметр ферромагнитной заготовки – 140 мм, толщина футеровки (шамот группы В) – 20 мм, величина воздушного зазора 5 мм. Обмотка индуктора выполнена из стандартной медной трубки специального профиля со смещенным отверстием. Индуктор охлаждается водой. Источники поля задавались через полный ток амплитудой 17350 А и соответствующим углом сдвига в зависимости от расположения обмотки.

По результатам расчета получено: средняя мощность тепловыделения составила суммарно во всех обмотках – 36409 Вт, в заготовке – 154445,9 Вт. Магнитная индукция в статоре не превышает 0,75 Тл, в заготовке максимальное значение наблюдается на поверхности и не превышает 3,1 Тл. Коэффициент полезного действия – 0,81, коэффициент мощности – 0,45. Аналогичный индуктор продольного поля, выполненный в виде цилиндрической катушки, имеет коэффициент полезного действия 0,74, коэффициент мощности 0,38.

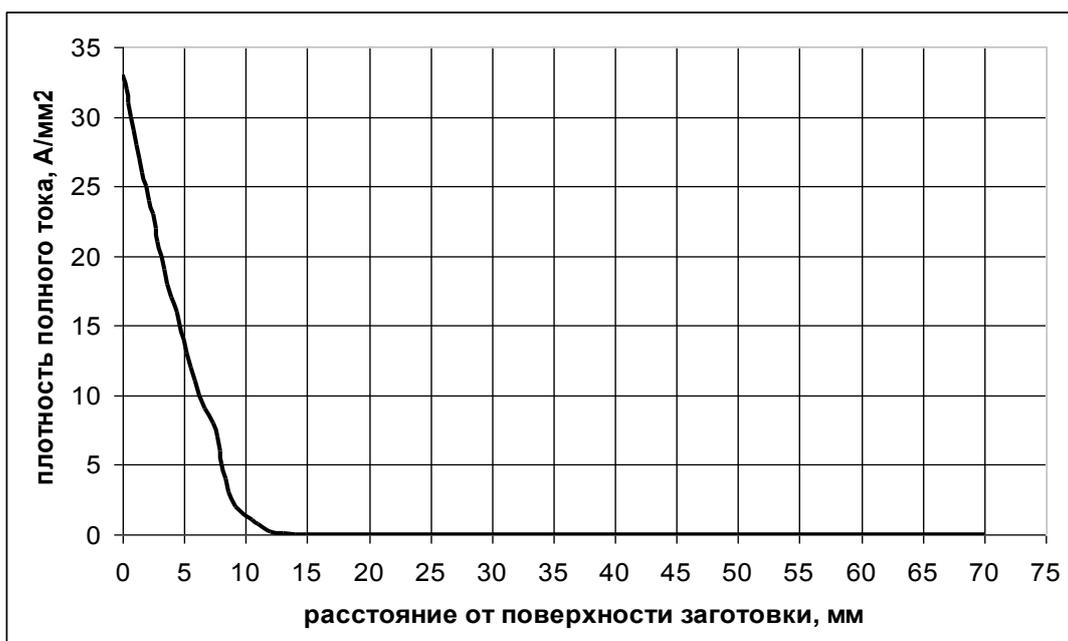


Рис. 2 - Распределение плотности полного тока по радиусу заготовки.

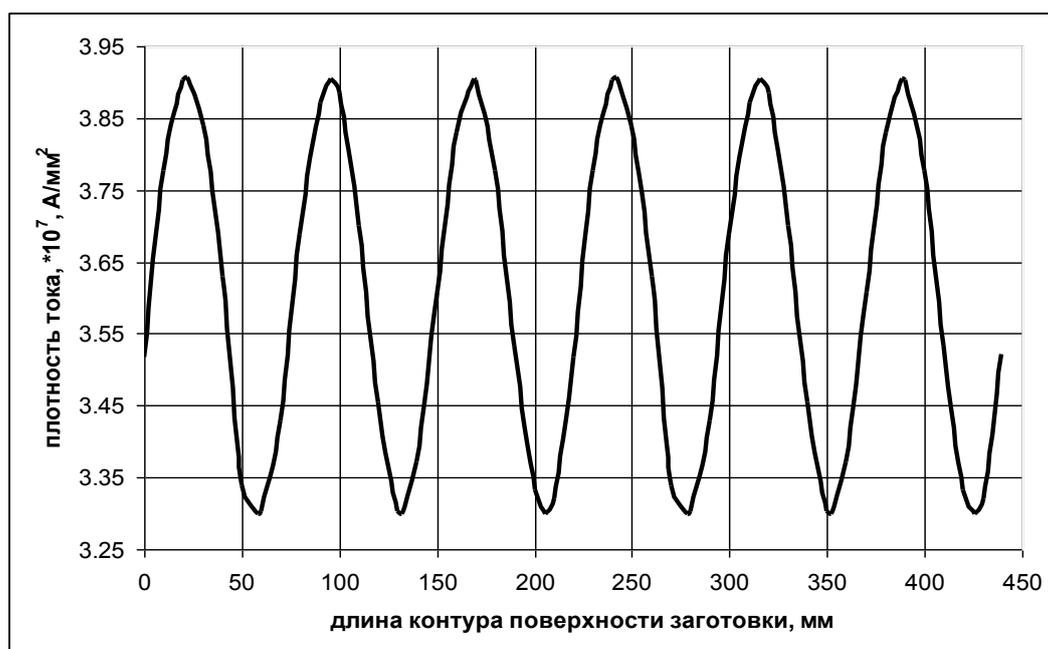


Рис. 3 - График распределения мгновенного значения плотности полного тока по внешнему радиусу заготовки.

Неравномерность температурного распределения по внешнему радиусу (контур) заготовки наблюдается только на расстоянии от поверхности, соответствующем глубине проникновения тока в металл. С приближением к центру изотермы принимают вид концентрических окружностей с центром, совпадающим с осью симметрии заготовки. Максимальный перепад температур по окружности заготовки, представленный на рис. 7, составляет 25 К.

Характер кривой распределения температуры по контуру поверхности заготовки (рис.4) соответствует характеру распределения источников внутреннего тепловыделения,

приведенному на рис.3, и объясняется различной мощностью нагрева под индуктирующим проводом и под зубцом магнитопровода.



Рис. 4 - Распределение температуры по контуру поверхности заготовки.

Предметом дальнейших исследований является оптимизация параметров индукционной системы, обеспечивающей требуемый по технологии температурный перепад по объему изделия за счет вариации конструктивных или режимных параметров при минимальных энергозатратах.

Список литературы:

1. *Базаров, А.А.* Моделирование и расчет внутренних источников тепла в трехфазном индукторе с вращающимся магнитным полем [Текст] / А.А. Базаров, А.И. Данилушкин, Е.А. Никитина // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2009. - №2(24). – С. 120-127.
2. *Вайнберг, А.М.* Индукционные плавильные печи [Текст] / А.М. Вайнберг. – М.: Энергия, 1967. – 415 с.
3. *Данилушкин, А.И.* Стационарная модель температурного поля трехфазного индукционного нагревателя с вращающимся магнитным полем [Текст] / А.И. Данилушкин, В.А. Данилушкин, Е.А. Никитина // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2010. - №2(26). – С.140-147.
4. *Карташов, Э.М.* Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.
5. *Лыков, А.В.* Тепломассообмен: справочник [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
6. ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.8: Руководство пользователя. С-Пб.: Производственный кооператив TOP, 2010. URL: http://elcut.ru/free_doc_r.htm (дата обращения: 18.09.2011).

Е. Ю. Раскатов к.т.н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
кафедра «Металлургические и роторные машины»
Россия, г. Екатеринбург
raskatov@pochta.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ

Описана математическая модель и приведены результаты перемещений металла в мгновенном очаге при пилигримовой прокатке труб.

Ключевые слова: моделирование, обжатия, калибровка, расчетная модель, гильза, подача, напряжения

Использование непрерывнолитых заготовок круглого сечения обеспечивает существенные преимущества пилигримового способа производства бесшовных труб. Однако непрерывнолитые заготовки имеют внешние и внутренние дефекты, в осевой зоне слитка образуются ликвация, пористость, раковины. В связи с этим, при пилигримовой прокатке очень важно создать благоприятную схему напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации, что предотвратит образование рванин на поверхности труб и обеспечит интенсивную проработку литой структуры металла, то есть получить трубы высокого качества. При этом особенно важно оценить закономерности обжатия и течения металла как по длине очага деформации, так и по ширине калибра в зависимости от величины подачи, особенно в местах выпуска калибров.

Исследование течения металла в очаге деформации пилигримовой прокатки труб усложняется тем, что в каждый момент времени рабочий конус валков соприкасается с металлом не по всей поверхности очага деформации (рис. 1), а какой-то сравнительно небольшой частью, то есть имеет место мгновенный очаг деформации [1].

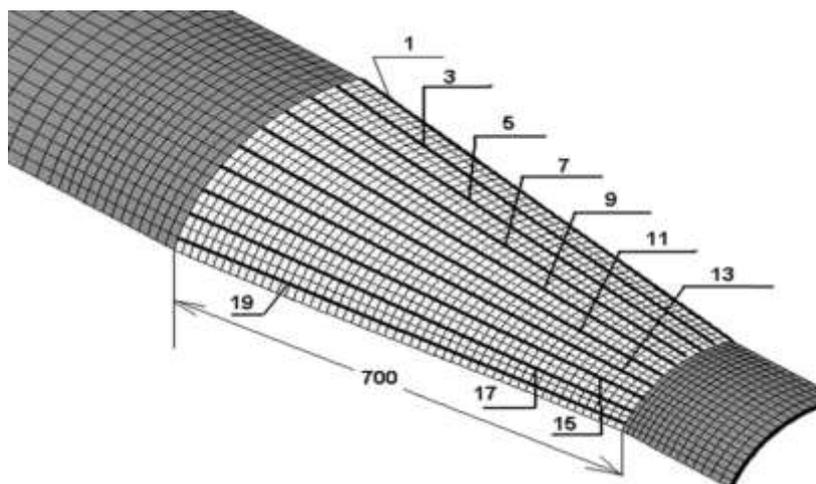


Рис. 1. Расчётная модель очага деформации.

Моделирование процесса прокатки тонкостенных труб в пилигримовом стане выполнялось с использованием программного продукта ANSYS v10.0 [2]. Расчет выполнялся с использованием метода конечных элементов в объемной постановке.

Упор сделан на определение закономерностей течения металла на первом участке, где бойковой частью валка осуществляется интенсивная деформация гильзы, и полирующем участке калибра валка, на котором раскатывается объем металла, смещенный на первом участке деформации. Материал трубы в очаге деформации испытывает упругопластические деформации, которые достигают конечных значений. Поскольку их уровень высок, то при описании модели материала трубы в очаге деформации учтена не только физическая, но и геометрическая нелинейность. Для материала трубы принята упругопластическая модель Прандтля-Рейса. Принимается, что трение на всей поверхности контакта валков с трубой подчиняется закону сухого трения Кулона, а коэффициент трения постоянен на всей контактной поверхности. Исследовался процесс пилигримовой прокатки тонкостенной трубы из стали 14ХГС диаметром 325 мм из гильзы диаметром 500 мм, причем диаметр дорна равен 300 мм. Скорость вращения валков составляла 45 об/мин.

Моделирование процесса пилигримовой прокатки проводили для калибровки валков, имеющей центральный угол бойкового участка 110 градусов, полирующего участка – 65 градусов, участка выпуска – 45 градусов и холостого участка 110 градусов. Величина подачи составляла 10, 20, 30 мм. Температура прокатываемого материала гильзы принята постоянной и равной 1050 °С.

На рис. 2 изображена расчетная модель прокатываемой трубы с калибром валка перед прокаткой. В силу симметрии рассматривается четверть предельного сечения трубы с калибром валка. Учитывается деформация гильзы по трем направлениям на основе трехмерной объемной модели. В качестве кинематических граничных условий задавалось отсутствие нормальных перемещений по плоскостям симметрии гильзы и валков.

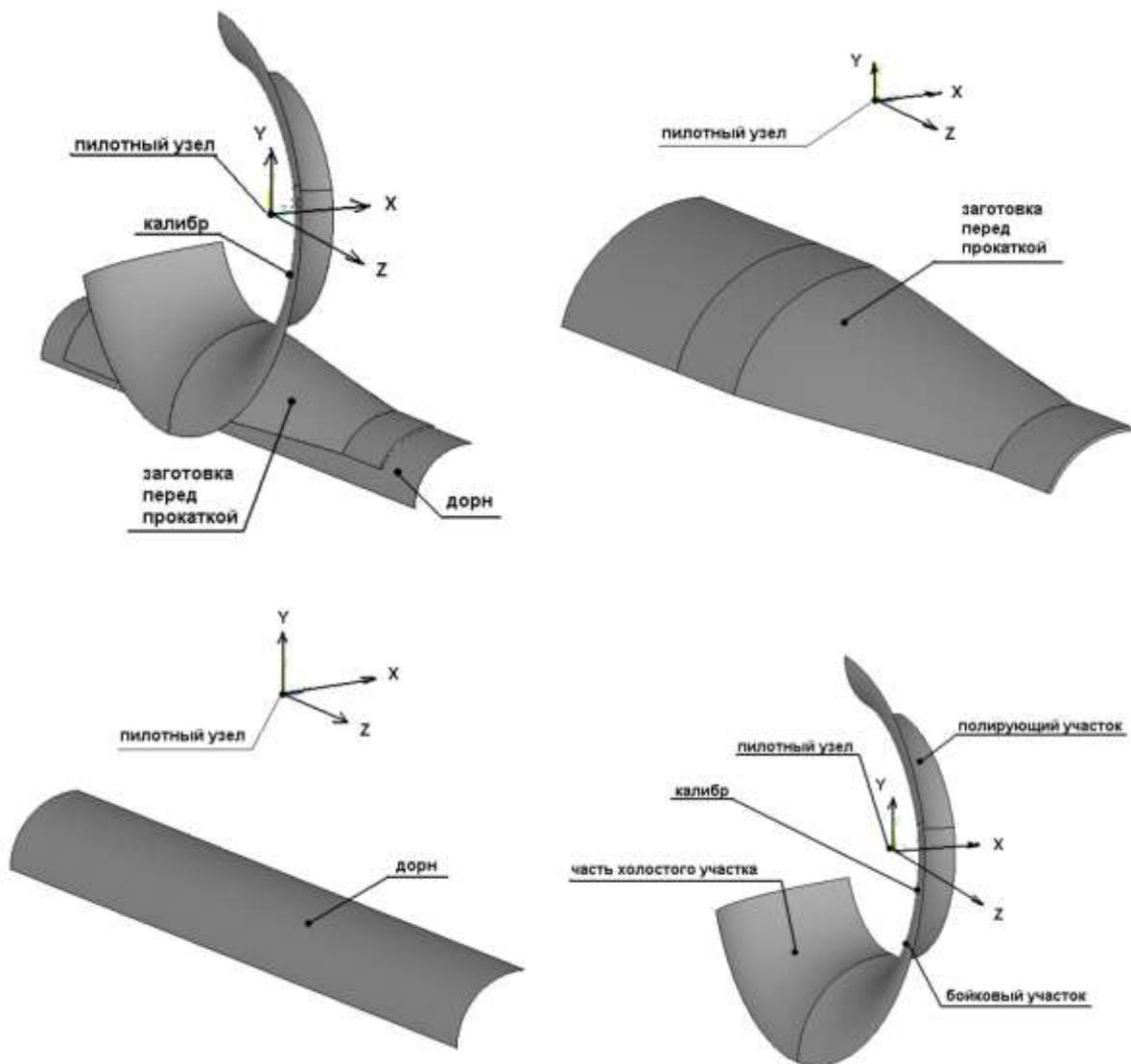
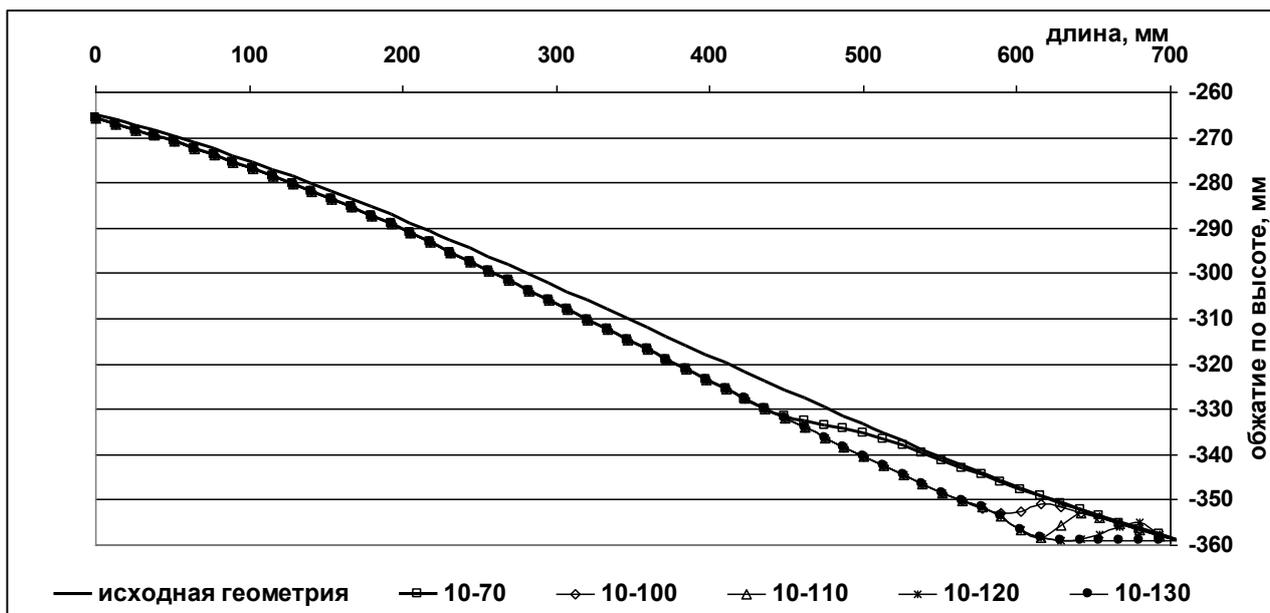
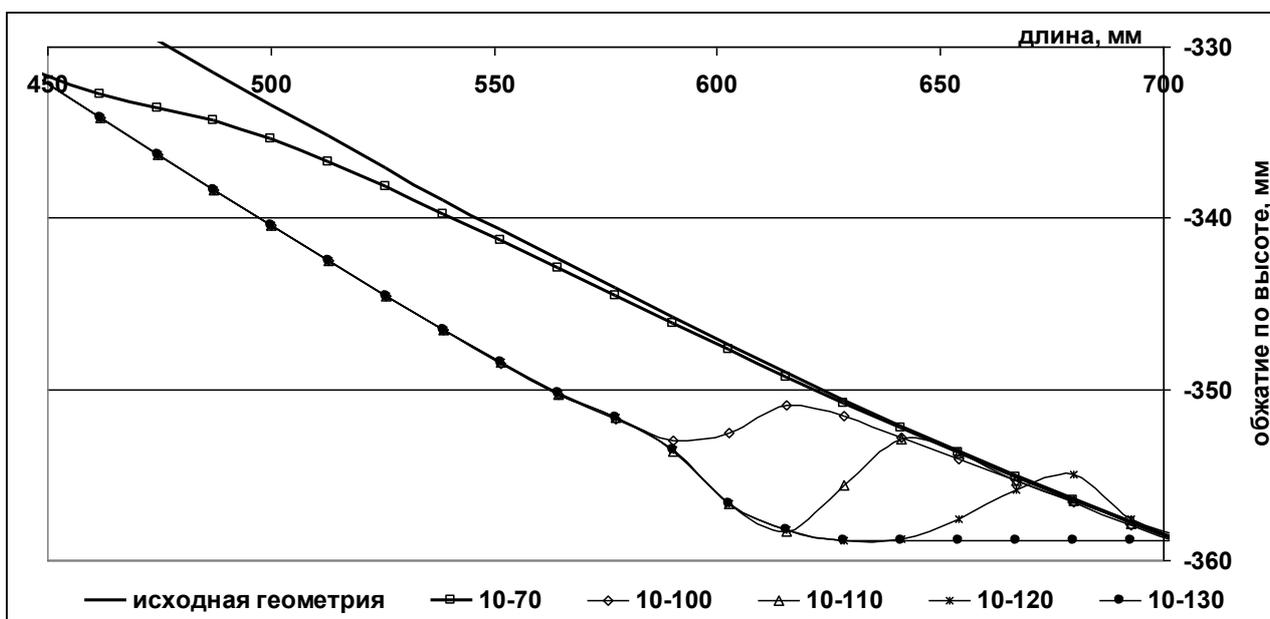


Рис. 2. Расчётная модель прокатываемой трубы в пилигримовых валках.

На рис. 3 и 4 показан характер изменения обжатия гильзы в зависимости от угла поворота валка соответственно для подач 10 и 30 мм. На рисунках дан характер обжатия, по высоте линии 1 (рис. 1). Обозначение линии, например, 10-70 – означает, что подача 10 мм, а угол поворота валка 70 градусов. Из рис. 3 следует, что при подаче гильзы в валки величиной 10 мм волна металла образуется практически для угла поворота валка 120 градусов, затем на полирующем участке она обжимается и при угле поворота валка 130 градусов волна не наблюдается. При подаче 30 мм волна образуется до угла поворота валка равного 130 градусов, затем она обжимается и исчезает при угле поворота валка 140 градусов.

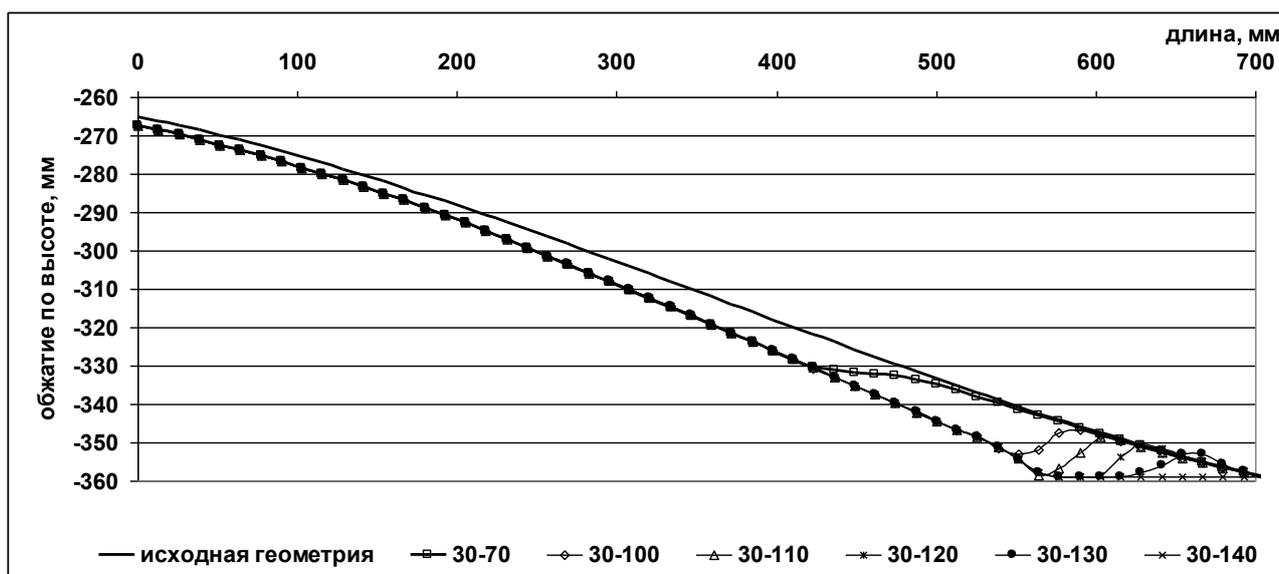


Обжатие по всей длине линии 1

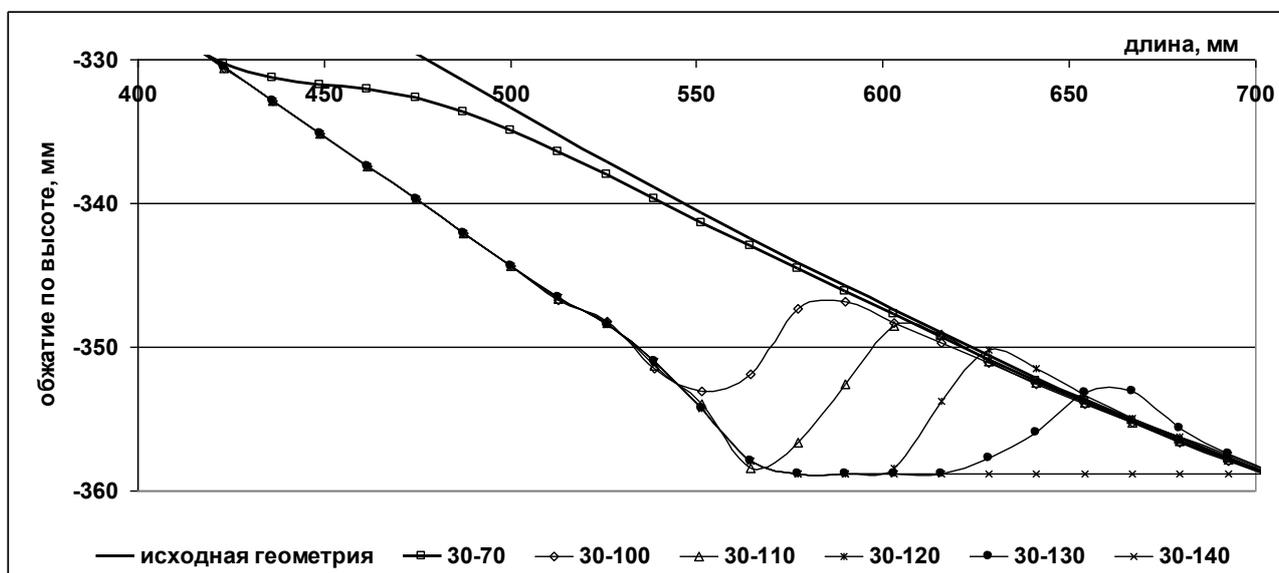


Обжатие по части линии 1 (укрупненно)

Рис. 3 Характер обжатия по высоте линии 1 в зависимости от угла поворота.
Подача 10 мм.



Обжатие по всей длине линии 1



Обжатие по части линии 1 (укрупненно)

**Рис. 4. Характер обжатия по высоте линии 1 в зависимости от угла поворота.
Подача 30 мм.**

Рис. 5 и 6 характеризуют обжатия по нормальям по линиям 1, 5, 9, 13 и 17 контакта калибра с гильзой (рис. 1), соответственно для двух углов поворота валка 80 и 100 градусов. Для подачи гильзы в валки 10 мм для этих же углов поворота приведены эпюры нормальных напряжений – SX. Калибровка валков 110-65-45-140. Из рисунков следует, что по периметру гильза обжимается неравномерно, причем наибольшее обжатие имеет место на участке по линии 9. На этом же участке возникают наибольшие нормальные напряжения, которые с величины 325 МПа при угле поворота валка 80 градусов возрастают до 720 МПа при угле поворота валков 110 градусов.

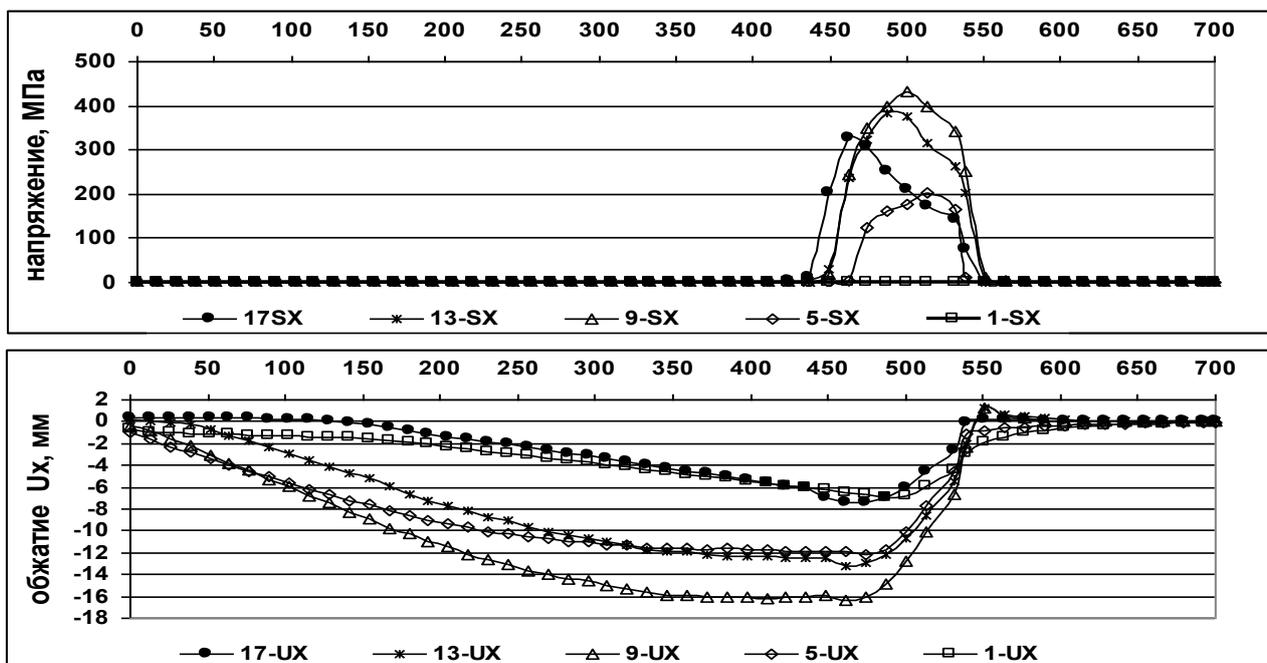


Рис. 5. Контактные нормальные (SX) напряжения по линиям 1, 5, 9, 13 и 17 контакта калибра с заготовкой. Характер обжатия по нормали (UX) по линиям 1, 5, 9, 13 и 17 контакта калибра с заготовкой. Угол поворота 80 градусов.

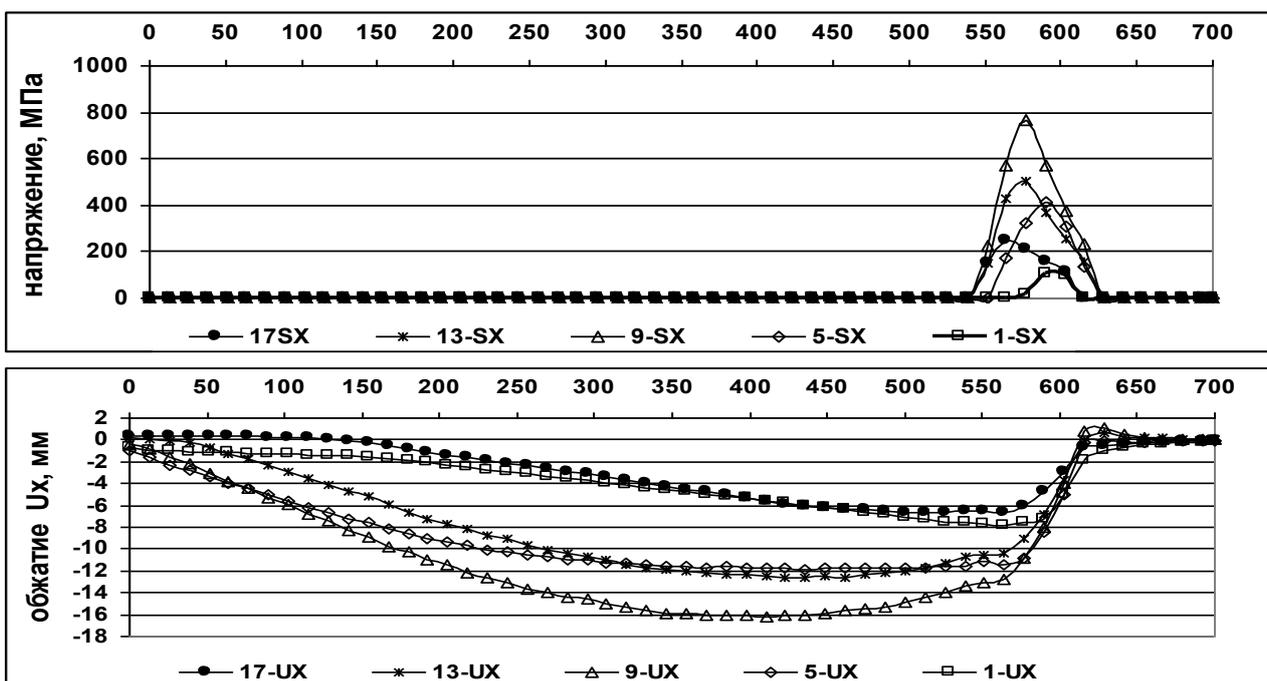


Рис. 6. Контактные нормальные (SX) напряжения по линиям 1, 5, 9, 13 и 17 контакта калибра с заготовкой. Характер обжатия по нормали (UX) по линиям 1, 5, 9, 13 и 17 контакта калибра с заготовкой. Угол поворота 110 градусов.

Заключение

В результате теоретического исследования перемещений металла в очаге деформации, определен уровень обжатий и области возникновения максимальных нормальных напряжений, а также характер обжатия гильзы валками при пилигримовой прокатке стальных тонкостенных труб.

Список литературы:

1. Тетерин П.К. Теория периодической прокатки. М: Metallurgy, 1978.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadfem.ru>

Ю. В. Сергеев

Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева
физико-технический факультет, кафедра гидропневмоавтоматики и гидропривода
Россия, г. Ковров
yusergeev_64@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОМАШИН И ЕЕ АПРОБАЦИЯ

В работе рассмотрен вопрос разработки методики определения коэффициента ускорения ресурсных испытаний аксиально-поршневых гидромашин. Предложенная методика учитывает параметры физико-механических характеристик материалов и микрогеометрию контактирующих поверхностей выделенных пар трения гидромашин. Представлены результаты апробации и экспериментальной проверки полученной расчетной зависимости.

Ключевые слова: ускоренные ресурсные испытания, коэффициент ускорения испытаний, аксиально-поршневая гидромашин.

В жизненном цикле любых объектов машиностроения, гидромашин в частности, особая роль отводится испытаниям. Зачастую подавляющая часть затрат на обеспечение жизненного цикла приходится на проведение испытаний. Поэтому выбор объемов и продолжительности проведения испытаний, а также поиск путей их сокращения является актуальной задачей. Один из путей решения этой задачи состоит в установлении связи между наработкой до отказа системы и параметрами режима ее функционирования, такими как характеристики процесса нагружения.

Для сокращения времени получения требуемой информации о надежности технических систем, таких как изделия энергетического и общего машиностроения, изделия авиационной техники и др., в настоящее время широко применяются ускоренные испытания, позволяющие эффективно выявлять конструктивно-производственные дефекты, проявление которых связано с наработкой.

В практике конструирования машин расчетные и экспериментальные методы исследования надежности очень часто сочетаются. При оценке надежности изделий машиностроения совместное использование результатов расчетов и испытаний позволяет более полно характеризовать причины отказов, находить «слабые» элементы конструкций или выявлять излишнюю несущую способность некоторых из них.

Целью настоящей работы являются разработка методики расчета коэффициента ускорения испытаний аксиально-поршневых гидромашин и экспериментальная проверка полученных расчетных зависимостей.

Ускоренные ресурсные испытания проводят с целью получения информации о надежности гидроприводов и их элементов в течение времени испытаний меньшего, чем гарантийная долговечность. Эффективность ускоренных ресурсных испытаний характеризуется коэффициентом ускорения K_y , который по аналогии с физическим моделированием представляет собой коэффициент подобия, равный отношению времени наработки ресурса при заданных эксплуатационных (нормальных) режимах τ_n к длительности работы при ускоренных испытаниях τ_y , защищающих тот же ресурс, при одинаковом уровне доверительной вероятности [1]:

$$K_y = \frac{\tau_n}{\tau_y}. \quad (1)$$

При разработке методики определения коэффициента ускорения испытаний гидромашин был принят ряд допущений. Считалось, что гидромашин – это невосстанавливаемые объекты; время гарантийной наработки определяется безотказной работой всех узлов гидромашин; понятие долговечности совпадает с понятием безотказности [2]; износ происходит в результате непосредственного контакта поверхностей.

Объектом исследований являются аксиально-поршневые гидромашин (АПГМ) с наклонным блоком цилиндров и двойным несилковым карданом, насосы переменной производительности типа № 1,5-ПД и гидромоторы постоянного рабочего объема № 1,5-ПМ. Эти гидромашин входят в состав силового следящего гидропривода Д-219-50.

Техническое состояние гидромашин после проведения ускоренных ресурсных испытаний оценивают по функциональным, структурным параметрам и состоянию поверхностей, по величине зазоров и люфтов, по износу сопрягаемых пар трения, по остаточной деформации уплотнений, по результатам разрушающего и неразрушающего контроля деталей [2].

Материалы проведенных ранее исследований [3] показывают, что после 850÷1000 часов испытаний объемных гидроприводов на базе гидромашин II гаммы износ отверстий цилиндров составил в среднем 1÷5 мкм, поршней – 2÷6 мкм, торцевого распределителя – 2÷9 мкм, торца блока цилиндров насоса – 12÷19 мкм, торца блока цилиндров гидромотора – 2÷7 мкм.

В качестве индикатора, определяющего объемные и механические потери гидромашин в процессе выработки ресурса, а следовательно, техническое состояние качающего узла и гидромашин в целом, была выбрана величина износа элементов распределительного узла, т.е. величина износа торца блока цилиндров насоса.

Распределительная пара «блок цилиндров – торцевой распределитель» по характеру работы довольно близка к осевым (упорным) подшипникам скольжения. Поэтому для получения зависимости износа деталей пары трения «блок цилиндров – распределитель» от параметров режима нагружения было решено использовать выражения, применяемые для определения характеристик изнашивания сопрягаемых деталей осевого подшипника скольжения.

Для определения долговечности такого упорного подшипника можно использовать выражение [4, 5]:

$$L = \frac{[h]}{J_h S_{mp} k_u}, \quad (2)$$

где L – долговечность (ресурс) работы подшипника (пары трения); $[h]$ – предельно-допустимый износ в направлении действия нагрузки; J_h – среднее значение линейной интенсивности изнашивания материала более изнашиваемой детали в условиях работы сопряжения; S_{mp} – путь трения скольжения подвижного элемента в единицу времени; k_u – коэффициент использования оборудования, учитывающий интенсивность изменения нагрузки в процессе работы пары трения.

Применительно к АПГМ с наклонным блоком цилиндров долговечность пары трения «блок цилиндров – распределитель» (упорного подшипника скольжения) будет определяться по формуле:

$$L = \frac{[h]}{C_h p^{1+\beta t_y} \pi (r_{н\delta\epsilon} + r_{\delta\epsilon}) \omega k_u}, \quad (3)$$

где C_h – коэффициент, численно равный интенсивности изнашивания при единичном значении давления; p – давление нагнетания; β – коэффициент, определяемый по формуле $\beta = (2\nu + 1)^{-1}$, ν – параметр, характеризующие начальный участок опорной кривой профиля поверхности $t_p = b\varepsilon^\nu$ [6]; t_y – параметр кривой фрикционной усталости, $r_{нбц}$, $r_{вбц}$ – наружный и внутренний радиус блока цилиндров; ω – угловая скорость подвижного элемента, в нашем случае – блока цилиндров.

Заменяя в формуле (1) время наработки τ на долговечность L , используя выражение (3) и проведя соответствующие преобразования, получили формулу для определения коэффициента ускорения форсированных испытаний аксиально-поршневых гидромашин:

$$K_y = \left(\frac{p_\phi}{p_n} \right)^{1+\beta t_y} \frac{\omega_\phi k_{u\phi}}{\omega_n k_{un}}, \quad (4)$$

где p_ϕ и p_n – давление нагнетания соответственно при форсированных и нормальных испытаниях; ω_ϕ и ω_n – угловая скорость вала гидромашин при форсированных и нормальных испытаниях; $k_{u\phi}$ и k_{un} – коэффициент использования оборудования, учитывающий интенсивность изменения нагрузки в процессе работы пары трения при форсированных и нормальных испытаниях.

С целью апробации зависимости для определения коэффициента ускорения форсированных ресурсных испытаний (4) был проведен расчет для АПГМ № 1,5-II с последующей экспериментальной проверкой путем проведения сравнительных ускоренных испытаний этих гидромашин в составе объемного гидропривода.

Исходными данными для оценки коэффициента ускорения испытаний являются: материалы пары трения, шероховатость поверхностей и вид технологической обработки, нормальное номинальное давление на контакте, внешние условия трения, температура, смазка.

В расчетах учитывается шероховатость изнашивающей поверхности, в нашем случае – это поверхность распределителя, материал – латунь ЛМцСКА 58-2-2-1-1 ТУ 48-21-356-74. Для поверхности, полученной с помощью доводки при шероховатости $Ra = 0,32$ мкм, имеем параметры начального участка опорной кривой поверхности $b = 3,2$; $\nu = 1,4$ [5, 6].

Для блока цилиндров изготовленного из стали Х12Ф1 ГОСТ 5950-73, $t_y = 6 \div 7$ [6].

Для проведения расчетов приняли $t_y = 6,5$.

Тогда формула (4) для определения коэффициента ускорения форсированных испытаний АПГМ № 1,5-II примет вид:

$$K_y = \left(\frac{p_\phi}{p_n} \right)^{2,71} \frac{\omega_\phi k_{u\phi}}{\omega_n k_{un}}. \quad (5)$$

В качестве исходных данных для расчетов были взяты характеристики режимов испытаний на гарантийную наработку АПГМ второй гаммы № 1,5-II, работающих в составе изделия Д-219-50 (согласно ТУ). Анализируя представленные режимы нагружения, определили эквивалентные значения параметров нагружения при нормальных испытаниях: давление нагнетания – $p_{н экв} = 8,58$ МПа, угловая скорость выходного звена –

$\omega_{н экв} = 125,14 \text{ рад/с}$ и частота переброски люльки насоса – $k_{и н экв} = 0,188 \text{ с}^{-1}$. Общее время испытаний $\tau_n = 1000 \text{ час}$.

Исходя из максимально-допустимых значений параметров рабочего режима, определяемых техническими условиями на исследуемые гидромашины, а также с учетом возможностей стендового оборудования, были назначены форсированные режимы нагружения. Значения параметров нагружения при форсированных испытаниях составили: давление нагнетания – $p_\phi = 12 \text{ МПа}$, угловая скорость выходного звена –

$\omega_\phi = 312,06 \text{ рад/с}$ и частота переброски люльки насоса – $k_{и \phi} = 0,25 \text{ с}^{-1}$.

Подставляя полученные значения в формулу (5), определили величину коэффициента ускоренных испытаний – $K_y = 8,23$. Тогда продолжительность ускоренных испытаний, согласно формуле (1), будет равна $\tau_y \approx 121,5 \text{ час}$. Округлив полученное значение до целого количества циклов, была назначена продолжительность ускоренных форсированных испытаний 128 часов (16 циклов по 8 часов).

Были проведены ускоренные испытания АПГМ с наклонным блоком цилиндров с двойным несилковым карданом № 1,5-II в составе объемного гидропривода на форсированных режимах продолжительностью 128 часов. Фактический коэффициент ускорения испытаний составил $K_y = \tau_n / \tau_y = 1000 / 128 \approx 7,81$. В процессе испытаний контролировали температурный режим, чистоту рабочей жидкости и периодически проверяли соответствие характеристик гидромашин требованиям ТУ. С помощью метода поверхностной активации (МПА) контролировали износ торца блока цилиндров насоса в процессе испытаний. Величина износа, измеренная с помощью МПА, после 128 часов ускоренных испытаний составила 16,34 мкм.

По окончании испытаний была проведена проверка характеристик гидромашин на соответствие требованиям ТУ, а затем разборка гидромашин и обмер элементов ходовых частей. Результаты измерения износа деталей гидромашин, полученные методом микрометрирования по окончании испытаний, приведены в таблице.

Таблица – Результаты измерения износа деталей гидромашин

Изделие	Износ торца блока цилиндров, мкм	Износ торца распределителя, мкм	Износ вала под манжетой, мкм
Насос	16,9	4,5	12,1
Гидромотор	5,1	4,2	10,2

Расхождение по величине износа торца блока цилиндров насоса № 1,5-II, измеренного с помощью МПА и методом микрометрирования, составило примерно 3,5%. Характер и параметры износа рабочих поверхностей деталей гидромашин соответствовали данным, получаемым при нормальных испытаниях. Результаты испытаний подтвердили эквивалентность режимов нормальных и ускоренных испытаний АПГМ с наклонным блоком цилиндров с двойным несилковым карданом второй гаммы.

Выводы.

Предложена методика расчета коэффициента ускорения испытаний АПГМ, учитывающая параметры физико-механических характеристик материалов и микрогеометрию контактирующих поверхностей выделенных критичных элементов (пар трения) гидромашин.

Проведена апробация разработанной методики для гидромашин второй гаммы № 1,5-II.

Проведены ускоренные испытания данных гидромашин. Результаты испытаний подтвердили эквивалентность режимов нормальных и ускоренных испытаний.

Полученные результаты позволяют рекомендовать расчетную зависимость (4) для определения коэффициента ускорения и назначения продолжительности испытаний подобных гидромашин.

Список литературы:

1. Беленков, Ю.А. Надежность объемных гидроприводов и их элементов / Ю.А. Беленков, В.К. Нейман, М.П. Селиванов, Ю.В. Точилин. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
2. Сырицин, Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: учебник для студентов вузов / Т.А. Сырицин. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
3. Калачев, Г.А. Анализ закономерностей износа узлов ЭГСП при ресурсных испытаниях / Г.А. Калачев, В.П. Кузнецов, Ю.А. Микипорис. // Методы ускоренных стендовых испытаний агрегатов тракторов на износ в условиях научно-технического перевооружения производства. – Челябинск: ЧФ НАТИ, 1988. – С. 28-29.
4. Дроздов, Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях: справочник / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
5. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
6. Справочник по триботехнике. В 3 т. Т. 1. Теоретические основы. / под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.

Ю. В. Сластушенский

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
факультет прикладной математики и физики
кафедра вычислительной математики и программирования
Россия, г. Москва
v_slastushensky@mosinter.net

МОДЕЛЬ СЛУЧАЙНОГО БЛУЖДЕНИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ АНОМАЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ

В статье рассматриваются вопросы применения аппарата дробно-дифференциальных уравнений для описания процессов аномальной диффузии. Предложена модель случайного блуждания для численного решения уравнений аномальной диффузии, содержащих дробные производные по времени и пространству.

Ключевые слова: дробно-дифференциальное исчисление; аномальная диффузия; дробная производная; формула Грюнвальда-Летникова; конечно-разностная схема; модель случайного блуждания; метод Монте-Карло

Дробно-дифференциальное исчисление – это область математического анализа, посвящённая исследованию и применению производных и интегралов произвольного порядка [1]. На текущий момент известны её приложения к задачам из самых различных отраслей науки. В последнее время всё больший интерес у исследователей вызывают процессы аномальной диффузии, которые являются одной из самых актуальных областей приложения дробно-дифференциального исчисления.

В отличие от классической диффузии, характеризующейся линейной зависимостью среднего квадрата смещения частиц от времени, в аномальных процессах наблюдается отклонение от линейного закона и появление дробного показателя степени p , $\langle r^2 \rangle \sim t^p$. При этом возможны режимы супердиффузии ($1 < p < 2$) и субдиффузии ($0 < p < 1$), связанные с прыжковым механизмом переноса и наличием ловушек в среде [2].

Математический аппарат для описания процессов аномальной диффузии на макроуровне (в приближении сплошной среды) основан на уравнениях в частных дробных производных. Одномерная по пространству модель аномальной диффузии может быть представлена следующим дробно-дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial^\gamma c(x,t)}{\partial t^\gamma} = D \frac{\partial^\alpha c(x,t)}{\partial x^\alpha} - V \frac{\partial c(x,t)}{\partial x}, \quad (1)$$

где $c(x,t)$ – объёмная концентрация диффундирующих частиц, D – коэффициент диффузии ($D > 0$), α и γ – параметры, характеризующие порядок производных по пространству и времени соответственно, $0 < \gamma \leq 1$, $1 < \alpha \leq 2$, а V задаёт скорость и направление конвекции.

Здесь выражение $\frac{\partial^\gamma c(x,t)}{\partial t^\gamma}$ представляет собой левостороннюю дробную производную,

а $\frac{\partial^\alpha c(x,t)}{\partial x^\alpha}$ – двустороннюю: $\frac{\partial^\alpha c(x,t)}{\partial x^\alpha} = C_+ \frac{\partial_+^\alpha c(x,t)}{\partial x^\alpha} + C_- \frac{\partial_-^\alpha c(x,t)}{\partial x^\alpha}$, где $C_+ \geq 0$, $C_- \geq 0$ и $C_+ + C_- = 1$.

В качестве начального условия может быть задана любая нормированная неотрицательная функция из пространства $L_1(-\infty; +\infty)$, т.е. $c(x, 0) = f(x) \geq 0$, $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$, в том числе возможно и $c(x, 0) = \delta(x)$.

Параметр γ в уравнении (1) отвечает за появление субдиффузии – при $\alpha = 2$ уравнение (1) описывает аномальную диффузию с зависимостью $\langle r^2 \rangle \sim t^\gamma$. Параметр α отвечает за появление супердиффузии – при $\gamma = 1$ уравнение (1) описывает аномальную диффузию с зависимостью $\langle r^2 \rangle \sim t^{2/\alpha}$. Комбинация обоих параметров в уравнении (1) может описывать аномальную диффузию как в режиме субдиффузии, так и в режиме супердиффузии $\langle r^2 \rangle \sim t^{p=f(\alpha, \gamma)}$ ($0 < p < 2$) – в зависимости от того, какой механизм является преобладающим. Очевидно, что в предельном случае $\alpha = 2$, $\gamma = 1$ уравнение (1) описывает классическую диффузию с $p = 1$.

Односторонние дробные производные произвольного порядка α определяются формулами Лиувилля (непрерывный подход):

$$\frac{\partial_+^\alpha f(x)}{\partial x^\alpha} = \frac{1}{\Gamma([\alpha] + 1 - \alpha)} \frac{d^{[\alpha]+1}}{dx^{[\alpha]+1}} \int_{-\infty}^x (x - \tau)^{[\alpha]-\alpha} f(\tau) d\tau, \quad (2)$$

$$\frac{\partial_-^\alpha f(x)}{\partial x^\alpha} = \frac{1}{\Gamma([\alpha] + 1 - \alpha)} \frac{d^{[\alpha]+1}}{dx^{[\alpha]+1}} \int_x^{+\infty} (\tau - x)^{[\alpha]-\alpha} f(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Дробная производная является нелокальным оператором свёртки. Значение дробной производной функции в точке x зависит для формулы (2) от значений функции во всех точках левее x , а для формулы (3) – от значений функции во всех точках правее x . Если α – целое число, то формулы (2) и (3) совпадают с формулами производной целого порядка. В силу сложности дробно-дифференциальных уравнений нахождение аналитических решений у задач вроде (1) затруднительно.

Все численные методы решения дробно-дифференциальных уравнений основаны на аппроксимации дробных производных на координатных сетках с использованием формул Грюнвальда-Летникова, которые представляют собой дискретный подход и которые эквивалентны формулам (2) и (3):

$$\frac{\partial_+^\alpha f(x)}{\partial x^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(-\alpha)} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(k - \alpha)}{\Gamma(k + 1)} f(x - kh), \quad (4)$$

для левосторонней дробной производной, и

$$\frac{\partial_-^\alpha f(x)}{\partial x^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(-\alpha)} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(k - \alpha)}{\Gamma(k + 1)} f(x + kh), \quad (5)$$

для правосторонней дробной производной.

Как следствие формул (4) и (5) стандартное приближение дробной производной (первого порядка точности) в узлах сетки запишется следующим образом:

$$\frac{\partial_+^\alpha f(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha} \approx \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{i+s} g_{\alpha, k} f(x_i - (k - s)h, t_n), \quad (6)$$

$$\frac{\partial_-^\alpha f(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha} \approx \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{K-i-s} g_{\alpha, k} f(x_i + (k - s)h, t_n), \quad (7)$$

где $g_{\alpha, k} = \frac{\Gamma(k - \alpha)}{\Gamma(-\alpha)\Gamma(k + 1)}$ – нормированные веса Грюнвальда-Летникова, $s \geq 0$ – целое

значение сдвига для модифицированной (смещённой) формулы Грюнвальда-Летникова. Хотя любой сдвиг (даже в случае несмещённой формы $s = 0$) даёт первый порядок точности,

наилучшее приближение достигается при минимизации модуля разности $|s - \alpha/2|$, т. е. оптимальное значение сдвига s зависит от порядка производной α [3]. Поэтому для значений $0 < \alpha \leq 1$ берётся $s = 0$, а для $1 < \alpha \leq 2$ берётся $s = 1$.

В результате получим следующие окончательные выражения для аппроксимации производных уравнения (1) на сетке (x_i, t_n) с шагами h, τ :

$$\frac{\partial^\gamma c(x_i, t_n)}{\partial t^\gamma} = \frac{\partial_+^\gamma c(x_i, t_n)}{\partial t^\gamma} = \frac{1}{\tau^\gamma} \sum_{k=0}^{\infty} g_{\gamma,k} c(x_i, t_{n-k}) + O(\tau), \quad (8)$$

$$\frac{\partial_+^\alpha c(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha} = \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{i+1} g_{\alpha,k} c(x_{i-k+1}, t_n) + O(h), \quad (9)$$

$$\frac{\partial_-^\alpha c(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha} = \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{K-i-1} g_{\alpha,k} c(x_{i+k-1}, t_n) + O(h), \quad (10)$$

$$\frac{\partial^\alpha c(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha} = C_+ \cdot \frac{\partial_+^\alpha c(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha} + C_- \cdot \frac{\partial_-^\alpha c(x_i, t_n)}{\partial x^\alpha}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial c(x_i, t_n)}{\partial x} = \frac{c(x_{i+1}, t_n) - c(x_{i-1}, t_n)}{2h} + O(h^2). \quad (12)$$

Изложенный подход позволяет строить явные и неявные разностные схемы для дробно-дифференциальных уравнений. Вопросы аппроксимации и устойчивости таких схем подробно рассмотрены в работах [3-4]. Однако весомой альтернативой им является метод случайного блуждания по сетке. При этом вероятности соответствующих перемещений полностью определяются только набором величин, включающим параметры уравнения α, γ, D, V и сеточные параметры h, τ . Такой подход является естественным обобщением метода Монте-Карло для уравнения классической диффузии. Для частного случая $\gamma = 1, V = 0$ построение соответствующей модели случайного блуждания изложено в [9]. Здесь же рассмотрим этот метод для более общего случая, представленного уравнением (1).

Запишем уравнение (1) в дискретном виде, воспользовавшись формулами (8) – (12) и перейдя от относительной концентрации (или плотности вероятности) $c(x_i, t_n)$ к относительному (отнесенному к общему количеству частиц в системе) числу частиц в ячейке (или вероятности нахождения частицы в ячейке) $y(x_i, t_n)$, приняв

$$y_i(t_n) = \int_{x_i-h/2}^{x_i+h/2} c(x, t_n) dx = h \cdot c(x_i, t_n):$$

$$\frac{\partial_+^\gamma y(x_i, t_n)}{\partial t^\gamma} = D \cdot (C_+ \cdot \frac{\partial_+^\alpha y(x_i, t_{n-1})}{\partial x^\alpha} + C_- \cdot \frac{\partial_-^\alpha y(x_i, t_{n-1})}{\partial x^\alpha}) - V \cdot \frac{\partial y(x_i, t_{n-1})}{\partial x} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\tau^\gamma} \sum_{m=0}^{\infty} g_{\gamma,m} y_{i,n-m} = \\ & = D \cdot (C_+ \cdot \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{\infty} g_{\alpha,k} y_{i-k+1,n-1} + C_- \cdot \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{\infty} g_{\alpha,k} y_{i+k-1,n-1}) - V \cdot \frac{y_{i+1,n-1} - y_{i-1,n-1}}{2h} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} y_{i,n} &= \gamma \cdot y_{i,n-1} - \sum_{m=2}^{\infty} g_{\gamma,m} y_{i,n-m} + \\ & + D \cdot \frac{\tau^\gamma}{h^\alpha} (C_+ \cdot \sum_{k=0}^{\infty} g_{\alpha,k} y_{i-k+1,n-1} + C_- \cdot \sum_{k=0}^{\infty} g_{\alpha,k} y_{i+k-1,n-1}) - V \tau^\gamma \cdot \frac{y_{i+1,n-1} - y_{i-1,n-1}}{2h} \end{aligned} \quad (15)$$

Уравнение (15) можно понимать не только как алгоритм для вычисления значений $y(x_i, t_n)$ на следующем временном слое по значениям на предыдущем $y(x_i, t_{n-1})$, но и как руководство к осуществлению случайного блуждания частицы по сетке с соответствующими коэффициентами перехода, стоящими при вероятностях нахождения y_i в ходе их

перераспределения по правилу: $y_i(t_n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} p_k y_{i-k}(t_{n-1}) + \sum_{m=2}^{+\infty} q_m y_i(t_{n-m})$. Эти коэффициенты и есть нужные для модели случайного блуждания вероятности p и q : p – вероятность прыжков по пространству (из любой точки слева или справа), а q – вероятность прыжка по времени (из любого предыдущего момента в той же точке).

После группировки слагаемых в (15) соответствующие вероятности прыжков p по пространству и q по времени легко определить ($m \geq 2$):

$$\begin{cases} p_0 = \gamma - D \cdot \frac{\tau^\gamma}{h^\alpha} (C_+ + C_-) \cdot \alpha \\ p_{\pm 1} = D \cdot \frac{\tau^\gamma}{h^\alpha} \left(\frac{\alpha(\alpha-1)}{2} C_{\pm} + C_{\mp} \right) \pm V \cdot \frac{\tau^\gamma}{2h} \\ p_{\pm k} = D \cdot \frac{\tau^\gamma}{h^\alpha} \cdot g(\alpha, k+1) \cdot C_{\pm} \\ q_m = -g(\gamma, m) \end{cases} \quad (16)$$

Наконец, необходимо показать, что для всех вероятностей выполнены такие важные условия, как $p_k \geq 0$ и $q_m \geq 0$, а также $\sum_{k=-\infty}^{+\infty} p_k + \sum_{m=2}^{+\infty} q_m = 1$, обеспечивающие неотрицательность числа частиц в ячейке и сохранение общего числа частиц, т.е. $y_i(t_n) \geq 0$ и $\sum_{k=-\infty}^{+\infty} y_k(t_n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} y_k(0)$.

Первое очевидно, если вспомнить вид ряда $g(\alpha, k)$ (его начальные члены выглядят как $1, -\alpha, \alpha(\alpha-1)/2, -\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)/6, \dots$) и учесть, что при $0 < \gamma < 1$ $g(\gamma, m)$ всегда отрицательно при $m \geq 1$, а при $1 < \alpha < 2$ $g(\alpha, k)$ всегда положительно при $k \geq 2$. При этом из первого уравнения в (16) вытекает накладываемое на параметры главное условие: $D \frac{\tau^\gamma}{h^\alpha} \leq \frac{\gamma}{\alpha}$, а из второго уравнения в (16) следует побочное условие на соответствие сетки сносу (актуальное только при $V \neq 0$): $\frac{2D}{h^{\alpha-1}} \left(\frac{\alpha(\alpha-1)}{2} C_{\pm} + C_{\mp} \right) \geq |V|$.

Второе также легко проверить, если учесть, что $\sum_{k=0}^{\infty} g(\alpha, k) = 0$ для любого $\alpha > 0$:

$$\begin{aligned} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} p_k + \sum_{l=2}^{+\infty} q_l &= [\gamma + D \cdot \frac{\tau^\gamma}{h^\alpha} \cdot (C_+ + C_-) \cdot \sum_{k=0}^{\infty} g(\alpha, k)] + [-\sum_{k=0}^{\infty} g(\gamma, m) + g(\gamma, 0) + g(\gamma, 1)] = \\ &= [\gamma + 0] + [0 + 1 - \gamma] = \gamma + 1 - \gamma = 1. \end{aligned}$$

В качестве начального распределения частиц в системе (или вероятности нахождения в ячейке в начальный момент времени) $y_i(t_0)$ при заданном начальном условии $s(x, 0) = f(x)$

следует брать $y_i(t_0) = \int_{x_i-h/2}^{x_i+h/2} f(x) dx$, например, в частном случае $s(x, 0) = \delta(x)$ при любом h будет

$$\begin{cases} y_0(t_0) = 1 \\ y_i(t_0) = 0, i \neq 0 \end{cases}$$

Список литературы:

1. *Нахушев А.М.* Дробное исчисление и его применение. – Москва, «ФИЗМАТЛИТ», 2003.
2. *Учайкин В.В.* Метод дробных производных. — Ульяновск, «Артишок», 2008.
3. *Meerschaert M.M., Tadjeran C.* Finite difference approximations for fractional advection–dispersion flow equations. – Journal of Computational and Applied Mathematics 172 (2004).
4. *А.А. Петухов, Д.Л. Ревизников.* Алгоритмы численного решения дробно-дифференциальных уравнений. // Вестник МАИ, 2009, Т.16, №6, с. 228– 234.
5. *Rudolf Gorenflo, Francesco Mainardi.* Random Walk Models for Space-Fractional Diffusion Processes. Fractional Calculus & Applied Analysis, Vol. 1, No 2, pp. 167 – 191, 1998.

В. В. Смирнов к.ф.-м.н.

Астраханский государственный университет
физико-технический факультет
кафедра материаловедения и технологии сварки
Россия, г. Астрахань
vsmirnov@aspu.ru

**РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ОСНОВАМ
АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATmega 16**

Разработанный стенд предназначен для реализации практикума по курсу «Основы автоматики и вычислительной техники» или другим аналогичным, изучаемым в университетах на различных специальностях. Он включает в себя девять лабораторных работ по изучению комбинационных схем различной сложности: от триггера до арифметико-логического устройства. При проектировании стенда были разработаны функциональные схемы каждой из реализуемых работ и вычислено максимальное количество разрядов портов микроконтроллера, необходимых для построения каждой из них. Максимальное количество разрядов не превышает пятнадцати. Поэтому было решено использовать матричную клавиатуру 4x4 разряда, которая занимает 8 разрядов одного порта. Ввод двоичного кода, используемый для переключения между работами, также занимает 8 разрядов порта. Для вывода сигналов на индикацию используются три разряда порта, которые управляют шестнадцатиразрядным сдвиговым регистром dm135. Еще 5 разрядов используются для генерации импульсов и 2 разряда для реализации аналого-цифрового преобразователя. Таким образом, для реализации поставленной задачи необходимо не менее 4 восьмибитных портов. Микроконтроллер ATmega 16 удовлетворяет названным требованиям. На его базе построены 7 работ стенда, остальные две выполнены на аналоговых дискретных элементах. Для каждой из семи работ составлен отдельный программный код. После проверки каждого из кодов, они были объединены в единый программный код. Код программы полностью написан на языке C (Standart 99). Компиляция кода осуществлялась в среде Codevision AVR 2.05, а среда AVR Studio 2 использовалась для его отладки и проверки. Разработанная программа для микроконтроллера позволяет эмулировать функции нескольких интегральных микросхем с возможностью выбора режимов работы каждой из них.

Ключевые слова: лабораторный практикум, триггер, аналого-цифровой преобразователь, арифметико-логическое устройство, комбинационные схемы, интегральная микросхема, микроконтроллер, программный код, среда программирования, эмуляция.

Развитие электронной вычислительной техники, информатики, их применение в промышленности, научных исследованиях, образовании и других сферах человеческой деятельности является в настоящее время приоритетным направлением научно-технического прогресса. Перефразируя слова классиков, можно сказать, что компьютер сейчас не роскошь, а средство передвижения. Полноценное его использование требует знаний о его устройстве и принципах работы. Это относится не только к специалистам по электронным вычислительным машинам, но и представителям других специальностей, в частности, получающим квалификацию «бакалавр физики», «магистр физики», инженер по различным направлениям и так далее.

Для изучения конструкции и принципов работы компьютера в учебных планах большинства университетов существует курс "Основы автоматики и электронно-вычислительной техники". Заметим, что название курса может варьироваться: «Основы электроники и вычислительной техники» (ОА и ВТ) и другие, что, однако, не меняет его сути. Акценты при изучении названного курса смещаются в зависимости от получаемой специальности, оставаясь в рамках требований Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ГОС ВПО). Эти требования, в частности, предусматривают, что выпускники университета должны «владеть практическими навыками проведения физических исследований; уметь применять современные методы физических исследований для решения конкретных задач профессиональной деятельности; уметь спланировать и провести экспериментальное исследование в своей профессиональной области с применением компьютера; самостоятельно обрабатывать и представлять результаты научно-исследовательских работ». Исходя из анализа существующих программ реализации курса для различных специальностей, и, учитывая требования ГОС ВПО, можно выделить инвариантную составляющую лабораторного практикума, являющегося составной частью изучаемого курса. Именно в практикуме осуществляется формирование умений «владеть практическими навыками проведения...» [1]. Эта составляющая реализуется при выполнении следующих работ:

1. методы измерения параметров импульсных сигналов с использованием осциллографа;
2. исследование работы основных типов полупроводниковых элементов (диода, стабилитрона, транзистора, тиристора, варикапа) и простейших устройств на их основе (одно - и двухполупериодного выпрямителей, параметрического стабилизатора, транзисторного ключа и т. д.);
3. проектирование и исследование работы основных генераторных схем;
4. проектирование и исследование работы основных типов усилительных устройств;
5. проектирование и исследование работы схем на базе операционного усилителя;
6. исследование работы логических элементов И, ИЛИ, НЕ;
7. проектирование комбинационных схем для заданной логической функции;
8. исследование работы шифратора и дешифратора;
9. исследование работы мультиплексора и демультимплексора;
10. исследование работы JK-триггера и проектирование на его основе RS-, D-, T-триггеров;
11. исследование работы универсального регистра;
12. исследование работы суммирующего и вычитающего счетчиков;
13. исследование работы интегральных схем сумматоров;
14. исследование работы аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей;
15. исследование работы арифметико-логического устройства;
16. исследование работы микропроцессора.

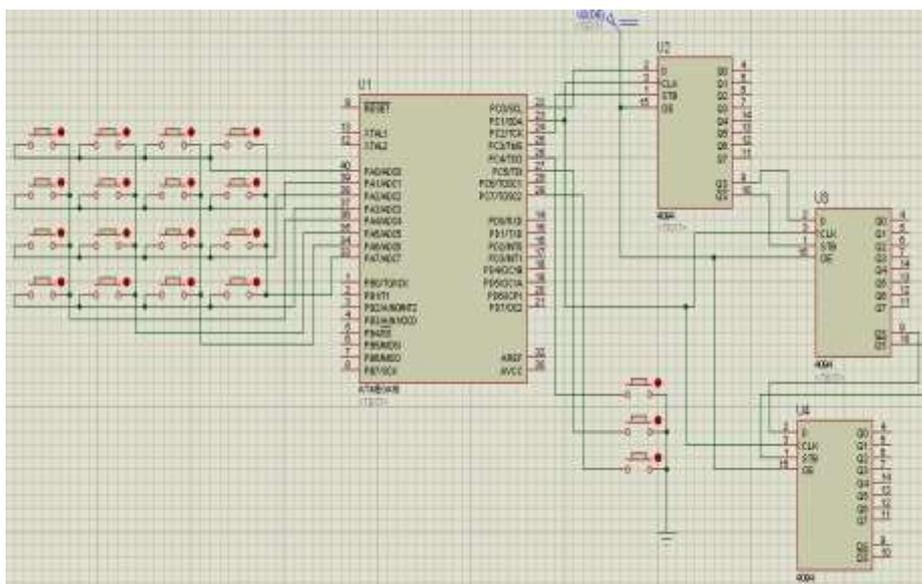


Рис. 1 - Принципиальная схема лабораторного стенда.

Для достижения максимального обучающего эффекта лабораторные работы должны выполняться фронтально по мере изучения соответствующего материала. Однако достаточно высокая стоимость оборудования и ограниченная площадь используемых помещений приводит к тому, что подавляющее большинство ВУЗов имеет один, максимум два комплекта названных (или похожих) лабораторных работ. Вследствие этого нарушается естественный ход освоения предмета – от простого к сложному, от изучения элементной базы - к изучению устройств, построенных на ее основе [2].

Одним из решений обозначенной проблемы является использование современной микроконтроллерной техники.

Разработанный комплект состоит из девяти лабораторных работ, выполненный в виде одного стенда. Стенд предназначен для изучения дешифратора 3X8; мультиплексора (4→1); двоичного четырехразрядного сумматора; асинхронного RS-триггера; асинхронного параллельного счетчика; синхронных D- и JK-триггеров; двоичного четырехразрядного счетчика; последовательного регистра; аналого-цифрового преобразователя; арифметико-логического устройства. Стенд реализован на базе микроконтроллера ATmega 16 фирмы Atmel, разработанного по архитектуре AVR. На рисунке 1 изображена принципиальная схема устройства, позволяющая реализовать на одном микроконтроллере изучение работы названных интегральных схем. Для выбора той или иной схемы используются переключатели, расположенные в левом верхнем углу стенда. С их помощью задается двоичный код, соответствующий номеру изучаемой схемы (рисунок 2). На принципиальной схеме это группа из трех переключателей. Введенный код запускает программу микроконтроллера, соответствующую выбранной работе.



Рис. 2 - Внешний вид лабораторного стенда.

Группа из 16 переключателей, расположенных в левой части принципиальной схемы, служит для управления работой выбранной для изучения схемы. Так, например, при введении кода 110 запускается шестая лабораторная работа (рис. 3) «Изучение применения синхронных Т-триггеров в качестве двоичного счетчика и последовательного регистра». Ее целью является установление вида зависимости состояния выходов счетчика и последовательного регистра от последовательности сигналов подаваемых на их вход. Подача сигнала на вход «Установка» (замыкание соответствующего переключателя) обнуляет состояние счетчика и регистра. Состояние их выходов контролируется с помощью светодиодов 1 – 4; состояние входов изменяется путем подачи сигнала на «С» у счетчика, и «С» и «D» у регистра.

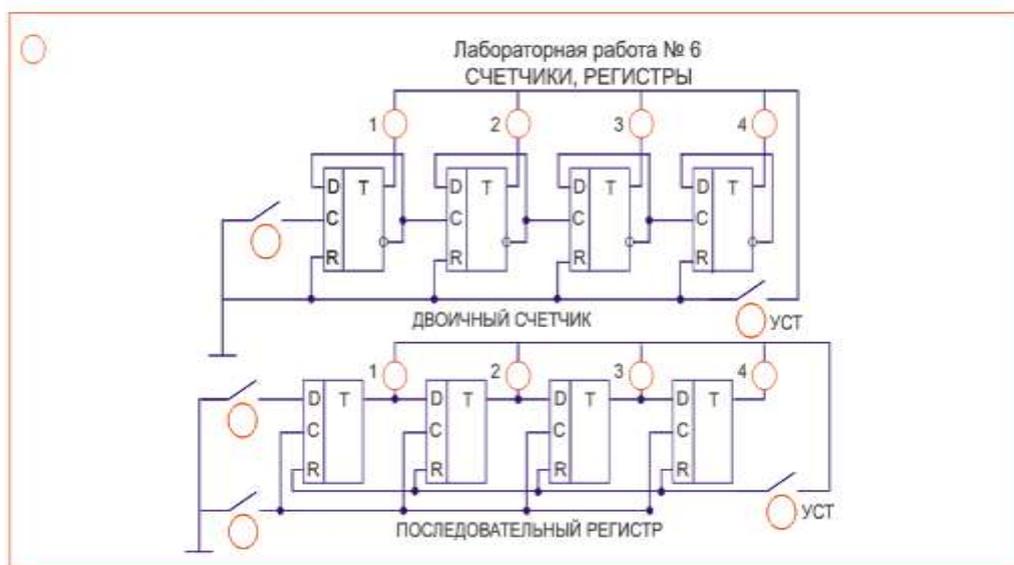


Рис. 3 - Лабораторная работа «Изучение применения синхронных Т-триггеров в качестве двоичного счетчика и последовательного регистра».

При проектировании стенда изначально были разработаны функциональные схемы каждой из реализуемых работ и вычислено максимальное количество разрядов портов микроконтроллера, необходимых для построения каждой из них. Оказалось, что максимальное количество разрядов не превышает пятнадцати. Поэтому было решено использовать матричную клавиатуру 4x4 разряда, которая занимает 8 разрядов одного порта.

Ввод двоичного кода, используемый для переключения между работами, также занимает 8 разрядов порта. Для вывода сигналов на индикацию используются три разряда порта, которые управляют шестнадцатиразрядным сдвиговым регистром dm135. Еще 5 разрядов используются для генерации импульсов и 2 разряда для реализации АЦП. Таким образом, для реализации поставленной задачи необходимо не менее 4 восьмибитных портов. Микроконтроллер ATmega 16 удовлетворяет названным требованиям. На его базе построены 7 работ стенда, остальные две выполнены на аналоговых дискретных элементах. Для каждой из семи работ составлен отдельный программный код. После проверки каждого из кодов, они были объединены в единый программный код. Его разработка велась в средах Codevision AVR 2.05 и AVR Studio 2 [3]. Код программы полностью написан на языке C (Standart 99). Компиляция кода осуществлялась в среде Codevision AVR 2.05, а среда AVR Studio 2 использовалась для его отладки и проверки. Разработанная программа для микроконтроллера позволяет эмулировать функции нескольких интегральных микросхем с возможностью выбора режимов работы каждой из них.

Список литературы:

1. Смирнов, В.В. Инновационная модель подготовки студентов к самостоятельному проведению экспериментальных физических исследований [Текст]: Монография/ В.В.Смирнов. - Астрахань, Издательский дом «Астраханский университет», 2010. 160с.
2. Смирнов, В.В. Разработка единого подхода к преподаванию общетехнических дисциплин в педагогических вузах. [Текст] / В.В.Смирнов // Преподавание физики в высшей школе – 2001. - № 20, С. 40-46.
3. Ю.А, Шпак. Программирование на языке C для AVR и PIC микроконтроллеров. МК-Пресс, 2006. – 400 с.

В. А. Столбова

Московский государственный строительный университет, институт ИГУН
кафедра «Организация строительства и управление недвижимостью»
Россия, г. Москва
vera_stolbova@mail.ru

МЕХАНИЗМ ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНА УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ

Актуальная на сегодняшний день проблема сохранения исторического наследия выявляет необходимость постановки и решения задачи выбора оптимального количества объектов, подлежащих реконструкции при ограниченных ресурсах.

Ключевые слова: городская пространственно-территориальная среда (ГПТС), мониторинг технического состояния, ограниченные ресурсы, программы мониторинга, рациональный набор объектов, ценность ГПТС, совокупная модель.

Государственный учет объектов культурного наследия является основополагающим направлением в сфере охраны памятников исторического наследия крупных городов. Принятый в 2002 году Федеральный закон № 73 «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», регулирующий вопросы охраны памятников истории и культуры, стал серьезным достижением в деле организации их сохранения. В настоящее время основной задачей в сфере государственного учета объектов культурного наследия можно назвать формирование Единого реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации.

Однако объективно возникает проблема определения приоритетности при формировании объектов, подлежащих первоочередным мероприятиям по контролю за техническим состоянием, поскольку количество памятников исторического наследия достаточно велико при ограниченных финансовых средствах, выделяемых на осуществление программ мониторинга, в связи с чем решение данной задачи является наиболее актуальной проблемой на сегодняшний день.

Задача формирования рационального набора объектов городской пространственно-территориальной среды (ГПТС), подлежащих мониторингу сводится к тому, что из всего их множества требуется сформировать такой набор, который обеспечил бы максимально возможный эффект от мониторинга их технического состояния при располагаемых ресурсах.

Рассматриваемую задачу можно решать путем прямого перебора и оценки наиболее эффективного варианта от всех возможных вариантов наборов объектов. При этом каждый из наборов должен формироваться с учетом всех заданных ограничений на ресурсы.

Анализ показывает, что решение может быть основано на определении соотношения необходимых ресурсов для проведения мониторинга и ценности объекта с последующим их ранжированием, т.е. решение может быть произведено, исходя из соотношений R_i/C_i . Находим такие соотношения для всех объектов исторического наследия и формируем их ряд в порядке возрастания, т.е. формируемый ряд вида:

$$R_1/C_1 \leq R_2/C_2 \leq R_3/C_3 \leq \dots \leq R_i/C_i \leq \dots \leq R_k/C_k \quad (1)$$

Затем из сформированного ряда производим отбор объектов, начиная с первого до тех пор, пока не будут полностью использованы располагаемые ресурсы. В результате получаем

набор объектов, обеспечивающий максимальную суммарную ценность при их эксплуатации. Следовательно, формируемый набор должен удовлетворять следующим двум неравенствам:

$$\begin{cases} R_1/C_1 \leq R_2/C_2 \leq R_3/C_3 \leq \dots \leq R_i/C_i \leq \dots \leq R_k/C_k \\ \sum_{i=1}^n R_i \leq R_c \end{cases} \quad (2)$$

Так решается задача формирования рационального набора объектов при выделении только одного фактора, который непосредственно влияет на очередность проведения мониторинга. Применительно к объектам ГПТС таким фактором является ценность объекта, остальные факторы считаются либо второстепенными (сложность проведения работ, трудоемкость, ограниченность трудовых, временных ресурсов и т.п.), либо некорректными применительно к таким объектам. Но задача в целом может принимать универсальный характер и решаться при нескольких ограничительных факторах, таких как: финансовые, материальные, трудовые и иные ограничения.

Решение рассматриваемой задачи проводим последовательно в несколько этапов. Поскольку все ресурсные ограничения выступают на паритетных началах, то для определенности, сначала из исходного набора формируем объекты лишь с учетом ограничений финансовых ресурсов (обозначим их через F). Назовем такую процедуру первым этапом формирования рационального набора объектов.

Сформированный набор объектов, согласно формуле (1) и (2) должен удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{cases} F_1/C_1 \geq F_2/C_2 \geq F_3/C_3 \geq \dots \geq F_i/C_i \geq \dots \geq F_n/C_n \\ \sum_{i=1}^n F_i \leq F_c \end{cases} \quad (3)$$

Но сформированный набор объектов на первом этапе может не обеспечиваться остальными ресурсами. В рассматриваемой постановке решения задачи - это материальными и трудовыми. Поэтому на втором этапе необходима проверка такой обеспеченности. Из сформированного набора объектов формируется набор по критерию эффективности материальных ресурсов. Обозначим такой набор через M .

Вновь сформированный набор объектов на втором этапе также исходя из соотношения (1) должен удовлетворять следующим неравенствам:

$$\begin{cases} M_1/C_1 \geq M_2/C_2 \geq M_3/C_3 \geq \dots \geq M_i/C_i \geq \dots \geq M_m/C_m \\ \sum_{i=1}^m M_i \leq M_c \end{cases} \quad (4)$$

где M_i - материальные ресурсы, необходимые для проведения мониторинга i -го объекта;

M_c - суммарные располагаемые материальные ресурсы;

m - количество объектов в сформированном их наборе.

Разумеется, вновь сформированный таким образом набор объектов обеспечивается располагаемыми как финансовыми, так и материальными ресурсами. Но этот вновь сформированный набор из m объектов не обеспечивается располагаемыми трудовыми ресурсами. Поэтому на следующем этапе решения задачи необходимо сформировать из этого набора, включающего в свой состав m -объектов новый набор с учетом эффективности трудовых ресурсов. Согласно условию (1), вновь формируемый набор должен удовлетворять следующему условию:

$$\begin{cases} T_1/C_1 \geq T_2/C_2 \geq T_3/C_3 \geq \dots \geq T_i/C_i \geq \dots \geq T_l/C_l \\ \sum_{i=1}^l T_i \leq T_c \end{cases} \quad (5)$$

где T_i - трудовые ресурсы, необходимые для проведения мониторинга i -го объекта;

T_c - суммарные располагаемые материальные ресурсы;

l - количество объектов в сформированном их наборе.

Сформированный набор из l объектов обеспечен и финансовыми, и материальными, и трудовыми ресурсами. И, следовательно, он удовлетворяет следующей совокупности неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{F_1/\Omega_1 \geq F_2/\Omega_2 \geq F_3/\Omega_3 \geq \dots \geq F_i/\Omega_i \geq \dots \geq F_n/\Omega_n \\ \sum_{i=1}^n F_i \leq F_c \\ M_1/\Omega_1 \geq M_2/\Omega_2 \geq M_3/\Omega_3 \geq \dots \geq M_i/\Omega_i \geq \dots \geq M_m/\Omega_m \\ \sum_{i=1}^m M_i \leq M_c \\ T_1/\Omega_1 \geq T_2/\Omega_2 \geq T_3/\Omega_3 \geq \dots \geq T_i/\Omega_i \geq \dots \geq T_l/\Omega_l \\ \sum_{i=1}^l T_i \leq T_c \end{array} \right. \quad (6)$$

Но сформированный набор может обеспечивать не самую высокую совокупную ценность, потому что если изменять последовательность его формирования, то на выходе мы будем иметь иные значения получаемой суммарной ценности объектов мониторинга.

Все возможные последовательности формирования вариантов можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} F \rightarrow M \rightarrow T \\ F \rightarrow T \rightarrow M \\ M \rightarrow F \rightarrow T \\ M \rightarrow T \rightarrow F \\ T \rightarrow F \rightarrow M \\ T \rightarrow M \rightarrow F \end{array} \right. \quad (7)$$

Говоря иначе, все множество вариантов здесь определяется по теории комбинаторики, как

$$p = k! = 1 * 2 * 3 = 6 \text{ вариантов,}$$

Где k – количество ресурсных ограничений.

Модель реализации каждой ветви в общем виде может быть представлена схемой, изображенной на рис. 1.

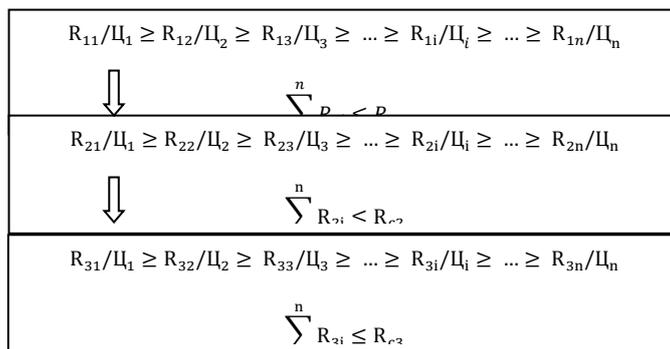


Рис. 1 Совокупная модель формирования рационального набора объектов мониторинга.

В модели рис.1 R_{1i} ; R_{2i} ; R_{3i} соответственно означают необходимые ресурсы первой, второй и третьей разновидности для проведения мониторинга на каждом i -м объекте ГПТС. При реализации каждой очередной ветви их нумерация изменяется. При реализации всех ветвей получаем количество вариантов наборов объектов по числу ветвей. В данной задаче – это шесть вариантов, каждому из которых будет соответствовать суммарная ценность одного из вариантов набора объектов ГПТС. Наиболее эффективный вариант следует принимать за искомый набор.

Решение представленной задачи является объективным инструментом по сохранению особо ценных зданий – памятников архитектурного наследия и дает дополнительную возможность сформировать оптимальный набор объектов для проведения мониторинга их технического состояния с последующими ремонтно-реставрационными мероприятиями по данным объектам.

Список литературы:

1. *Соболев А.Н.* Автоматизация синтеза технических решений / Йошкар-Ола, Марийский государственный Университет, 1983.
2. *Соколовский Д.В.* Критерий оценки эффективности охраны памятников. / М.: Электронный журнал «Труды МАИ», №2, 2000.
3. <http://kulturnoe-nasledie.ru/documentations.php?id=24>
4. <http://www.art-con.ru/node>

Л. Б. Строгонова д.т.н., П. А. Фомкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Россия, г. Москва

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ В УСЛОВИЯХ ГЕРМЕТИЧНО ЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА

В статье приводятся технические и технологические возможности изучения микробиологических объектов в космическом пространстве. Дана общая математическая модель распознавания образов.

Ключевые слова: длительный космический полет, микробиологическая безопасность, распознавание образов

Одним из важнейших условий эксплуатации пилотируемых космических кораблей является их экологическая безопасность, включающая обеспечение надежного контроля за физическими, химическими и биологическими параметрами среды обитания, в том числе за микробиологическим фактором.

При осуществлении пилотируемых межпланетных экспедиций, включая автономную жизнедеятельность экипажа при полете на Марс, в связи с отсутствием возможности отправки отобранных образцов на Землю для анализа, система мероприятий и методов обеспечения контроля и управления состоянием микробиологической обстановки на борту космического корабля должна обеспечить возможность проведения необходимых исследований и обработку полученных результатов непосредственно членами экипажа на борту космического аппарата.

Первоочередная задача на пути решения данной проблемы – это отбор и изучение микробиологических проб, взятых с элементов интерьера и оборудования космического корабля.

Объект нашего исследования – так называемая S-колония микроорганизмов [от англ. smooth, гладкий], именно такие колонии образуют патогенные для человека микроорганизмы. Для подготовки исследуемого образца необходимо сделать посев на питательную среду, после чего ожидать появления колонии. Далее исследуемый образец подвергается сканированию.

Общая структура системы распознавания и этапы в процессе ее разработки показаны на рис. 1.

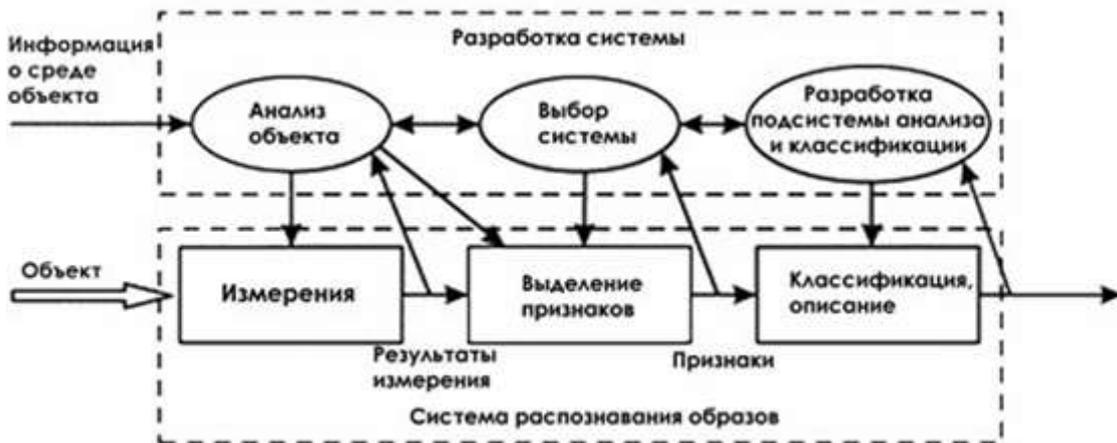


Рис. 1. Структура системы распознавания.

Выделяют следующие типы задач распознавания:

- Задача распознавания - отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов (обучение с учителем);
- Задача автоматической классификации - разбиение множества объектов, ситуаций, явлений по их описаниям на систему непересекающихся классов (таксономия, кластерный анализ, самообучение);
- Задача выбора информативного набора признаков при распознавании;
- Задача приведения исходных данных к виду, удобному для распознавания;
- Динамическое распознавание и динамическая классификация - задачи 1 и 2 для динамических объектов;
- Задача прогнозирования - суть предыдущий тип, в котором решение должно относиться к некоторому моменту в будущем.

Простая схема распознавания содержит два основных блока: датчик и классификатор. Датчик представляет собой устройство, преобразующее физические характеристики объекта, подлежащего распознаванию, в набор признаков, $\mathbf{x} = (x_1 \dots x_n)$

которые характеризуют данный объект. Классификатор представляет собой устройство, относящее каждый поступающий на его вход допустимый набор значений к одному из конечного числа классов (категорий), вычислив множество значений решающих функций.

Считается, что система распознавания допускает ошибку в том случае, если она относит к классу ω_j объект, на самом деле принадлежащий отличному от ω_j классу. Считается, что системе распознавания R_1 лучше системы распознавания R_2 , если вероятность совершить ошибку для системы R_1 меньше, чем для системы R_2 . Датчик выдает информацию в виде вектора $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, где n - число измеренных характеристик каждого физического объекта. Предполагается, что вектор измерений \mathbf{x} принадлежит одному из M классов образов $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$.

Мы принимаем допущение о том, что априорные вероятности появления объектов каждого класса одинаковы, т.е. вектор \mathbf{x} может с равной вероятностью относиться как к одному, так и к другому классу. Пусть $p(\mathbf{x}|\omega_i) = p_i(\mathbf{x})$ есть плотность распределения для вектора \mathbf{x} при условии, что он принадлежит классу ω_i . В таком случае вероятность того, что на самом деле вектор \mathbf{x} принадлежит классу ω_j определяется выражением

$$p_i = \frac{p(\mathbf{x}|\omega_j)}{\sum_{k=1}^M p(\mathbf{x}|\omega_k)}$$

Вероятность того, что вектор x не принадлежит классу ω_j , определяется выражением

$$1 - p_j = 1 - \frac{p(x|\omega_j)}{\sum_{k=1}^M p(x|\omega_k)},$$

задающим вероятность ошибки.

Решающая функция представляет собой функцию $d(x)$, относящую x точно к одному из M заданных классов. Оптимальной считается решающая функция $d^{\circ}(x)$ которая дает наименьшую вероятность ошибки при всех допустимых значениях x . Значение j , при котором величина $1 - p_j$ будет наименьшей, совпадает с тем значением j , которому соответствует наибольшее ω_i значение вероятности $p(x|\omega_j)$. Итак оптимальная решающая функция $d^{\circ}(x)$ относит набор x к классу ω_i в том и только в том случае, если выполняются неравенства

$$p(x|\omega_i) > p(x|\omega_j) \quad \forall j \neq i \quad \frac{p(x|\omega_i)}{p(x|\omega_j)} > 1 \quad \forall j \neq i.$$

При $p(x|\omega_i) = p(x|\omega_k)$ и $p(x|\omega_i) > p(x|\omega_j)$, $j = 1, 2, \dots, M, j \neq i \neq k$,

оптимальная решающая функция $d^{\circ}(x)$ может отнести вектор x как к классу ω_i , так и к классу ω_k . Для заданного значения x классификатор определяет оптимальную решающую функцию.

Допустим, наконец, что измеренные значения распределены нормально и соответствующие ковариационные матрицы имеют вид

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}$$

где c_{ij} — ковариация 1-й и j -той компонент вектора измерений x , а c_{ii} — дисперсия i -й компоненты вектора измерений x . Поскольку в случае нормального распределения имеем

$$p(x|\omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |C|^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2} (x - m_i)' C^{-1} (x - m_i)\right]$$

где m_i — вектор математического ожидания, отношение двух плотностей $p(x|\omega_i)$ и $p(x|\omega_j)$ определяется выражением

$$\frac{p(x|\omega_i)}{p(x|\omega_j)} = \exp\left\{-\frac{1}{2} [(x - m_i)' C^{-1} (x - m_i) - (x - m_j)' C^{-1} (x - m_j)]\right\}.$$

Введем величину

$$r_{ij}(x) = \ln \frac{p(x|\omega_i)}{p(x|\omega_j)};$$

Тогда получим выражения для разделяющей функции

$$r_{ij}(x) = x' C^{-1} (m_i - m_j) - \frac{1}{2} (m_i + m_j)' C^{-1} (m_i - m_j).$$

Для определения оптимальной разделяющей функции следует вычислить $M(M-1)$ значений функций $r_{ij}(x)$ для всех $i, j, i \neq j$, и выбрать наибольшее из полученных значений. Если окажется, что этот максимум равен r_{kj} , то относим x к классу ω_k .

Данный алгоритм как простейший нуждается в существенной доработке для удовлетворения нашим нуждам и обладает рядом существенных ограничений.

Для повышения точности распознавания отдельных символов, необходимо проводить дополнительный анализ значимых признаков, например симметричность образа (горизонтальная, вертикальная), наличие замкнутых областей, количество отрезков и дуг, их взаимное расположение и ориентация (требуется векторизация изображения).

Решение этих задач – дело ближайшего будущего.

Список литературы:

1. Inoue S., Inoue T. Direct-view high-speed confocal scanner: the CSU-10 // Methods in Cell Biology. - 2002. - Vol.70. - P.87-127.

2. Optimizing low-light microscopy with backilluminated electron multiplying chargecoupled device: enhanced sensitivity, speed, and resolution / Coates C.G., Denvir D.J., McHale N.G., Thornbury K.D., Hollywood M.A. // J. Biomed. Opt. - 2004. - Vol., 9, №6. - P.1244-1252

3. Novikova N.D. Microbiological risks in extended space mission // 11th International Conference "Space Activity and Relevant Insurance Applications", Rome-March 15- 16, 2001. Printed in Italy by Editoriale Ergon s.r.l. 2002. P. 245-253.

4. Natalia Novikova, Patrick De Boever, Svetlana Poddubko, Elena Deshevaya, Nikolai Polikarpov, Natalia Rakova, Ilse Coninx, Max Mergeay. Survey of the environmental biocontamination aboard the International Space Station. // Research in Microbiology. 2006. 157. P.5-12.

5. Strogonova L.B., Fomkin P.A. Aspects of microbiological control during longtime space expeditions // IAC 2009 Paper

6. Strogonova L.B., Fomkin P.A., Poddubko S.V., Novikova N.D. Technical problems of microbiological protection of a manned lunar station // GLUC 2010 Paper

Д. Ю. Сясин

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
кафедра автоматических информационных систем
Россия, г. Владивосток
dims5@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе излагается подход к решению задачи идентификации надводных объектов в районе навигации судна с использованием нейронных сетей. Описывается методика проектирования и обучения нейронной сети.

Ключевые слова: нейронная сеть, идентификация надводных объектов, искусственный интеллект, классификация.

Своевременное обнаружение и идентификация надводных объектов в районе плавания являются залогом безопасного маневрирования и правильной прокладки курса судна. Процесс идентификации объектов осложняется различными факторами, такими, как плохие метеоусловия в районе навигации, отсутствие связи с другими судами, искажение показаний радиолокационного оборудования. Адекватным подходом для решения задачи идентификации может быть использование системы, созданной на основе искусственного интеллекта, успешно обрабатывающей неполные или "зашумленные" данные.

Целью работы является изучение возможности применения нейронной сети для идентификации надводных объектов, используя данные радиолокационного оборудования.

Для решения поставленной задачи была выбрана вероятностная нейронная сеть (PNN – Probabilistic Neural Network), основанная на радиально-базисных функциях (RBF – Radial Basis Functions), отличающаяся высокой скоростью обучения, универсальными аппроксимирующими возможностями и успешно зарекомендовавшая себя в различных задачах классификации. Учитывая специфику наблюдаемых объектов, был выделен ряд параметров, характеризующих эти объекты (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры наблюдаемых объектов

Параметр	Название параметра	Ед. изм. параметра	Описание параметра
v	Скорость	узел	Наибольшая скорость, развитая объектом за время наблюдения
a	Ускорение	узел/мин	Наибольшее изменение скорости объекта за время наблюдения
ω	Угловая скорость	градус/сек	Наибольшее изменение курса объекта за время наблюдения
d	Дистанция обнаружения	морская миля	Дистанция, на которой был запеленгован объект

l	Относительная длина эхосигнала		Отношение длины эхосигнала объекта на радаре к шкале дальности радара
m	Относительная ширина эхосигнала		Отношение ширины эхосигнала объекта на радаре к шкале дальности радара
q	Качество эхосигнала	%	Относительная характеристика качества эхосигнала на радаре
h	Глубина	метр	Глубина в районе обнаружения объекта
b	Дистанция до берега	морская миля	Дистанция от объекта до береговой черты

Для проведения эксперимента было предложено разделить все возможные наблюдаемые объекты в районе навигации на классы, представленные в таблице 2. Деление надводных объектов на классы выполнено с учетом их поведения, размеров и характера движения.

Таблица 2 – Классы наблюдаемых объектов

Класс	Название класса	Объекты, принадлежащие к классу
C1	Суда малого водоизмещения	Рыболовные суда, катера
C2	Суда среднего водоизмещения	Сухогрузы
C3	Суда большого водоизмещения	Контейнеровозы, танкера, химовозы, газовозы
C4	Яхты	Яхты (небольшие парусные суда)
C5	Летательные аппараты	Низколетящие летательные аппараты, гидросамолеты, вертолеты
C6	Отдельные плавучие объекты	Небольшие объекты, находящиеся наплаву и свободно дрейфующие, мусор, бочки, контейнера
C7	Стационарные навигационные объекты	Буи, радиобуи, радиолокационные маяки и т.п.
C8	Элементы ландшафта	Острова, мысы, участки береговой черты
C9	Осадки	Облака нижнего слоя, дожди в зоне действия радара

Предлагаемая архитектура нейронной сети имеет три слоя: входной, радиальный и выходной (рис. 1). Радиальные элементы берутся по одному на обучающее наблюдение, и представляют гауссову функцию с центром в этом наблюдении. Каждому классу соответствует один выходной элемент. Этот элемент соединен со всеми радиальными элементами, относящимися к его классу, со всеми остальными он имеет нулевое соединение. Таким образом, выходной элемент суммирует отклики всех элементов, принадлежащих к его классу. Значения выходных сигналов получаются пропорциональными оценкам вероятности принадлежности соответствующим классам, пронормировав которые, вычисляются окончательные оценки вероятности принадлежности к классам.

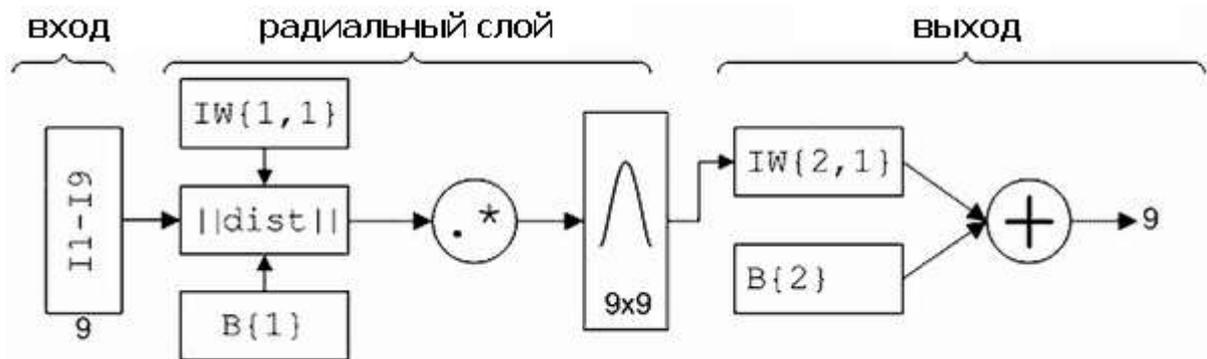


Рис. 1 – Схема нейронной сети.

Для обучения нейронной сети смоделированы 2700 примеров. На основе предложенных параметров объектов производится кластеризация по методу «к-средних» каждого из классов на 15 кластеров, таким образом, в каждом кластере оказалось по 30 объектов. В результате были получены векторы центроидов кластеров. Рисунок 2 наглядно отображает результат кластеризации множества объектов классов С1 и С2 по двум параметрам – радиусу эхосигнала и скорости. Крупными точками обозначены центроиды кластеров соответствующего класса.

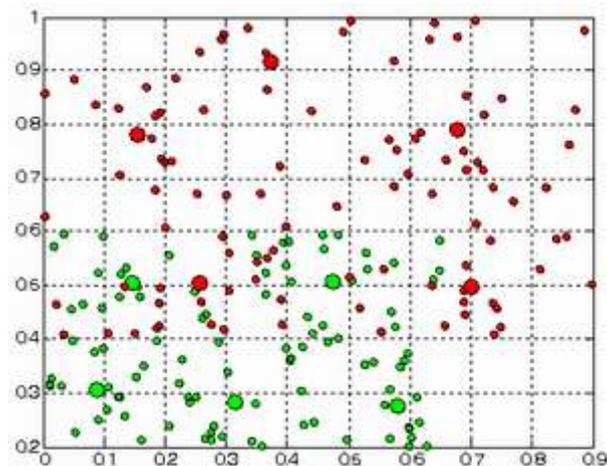


Рис. 2 – Кластеризация объектов двух классов: С1– зеленые и С2– красные.

Следующим шагом является определение отклонений гауссовой функции для каждого центроида кластеров, для чего было решено применить метод «К – ближайших соседей». Радиус колокола каждого ядра рассчитывался как средняя дистанция до К=3 (опытным путем было установлено, что ошибка сети наименьшая при К=3) ближайших соседних центроидов. На рисунке 3 изображены радиусы колоколов гауссовых функций каждого центроида тех же объектов после их кластеризации. Крупными точками отображены центроиды кластеров соответствующего класса, слева использовалась дистанция до ближайшего соседнего центроида, справа – средняя дистанция до трех «ближайших соседей». Затем по известным радиусам находят отклонения гауссовой функции.

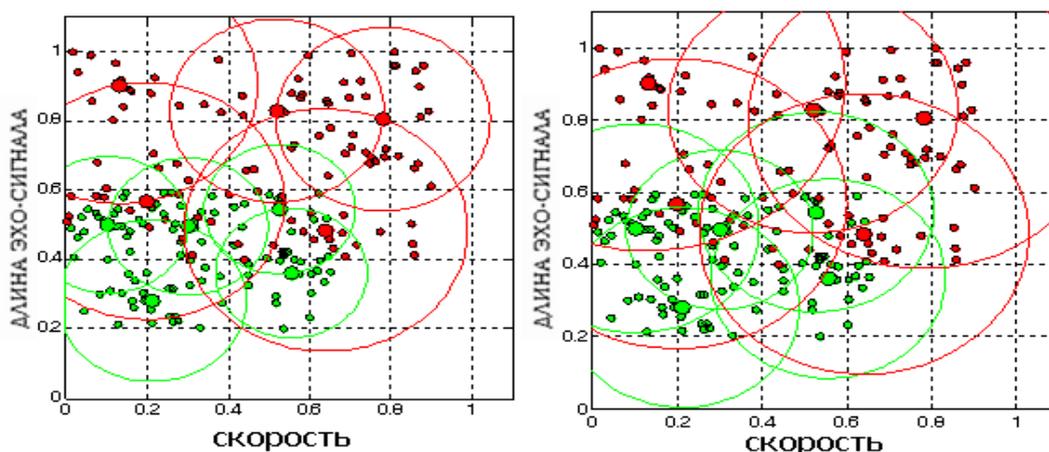


Рис. 3 – Поиск отклонений методом «к – ближайших соседей» (слева K=1, справа K=3).

Результатом подобного обучения являются весовые коэффициенты – вектора центроидов и пороговые уровни слоя – отклонения. В сумме данные функции представляют общую поверхность отклика сети. Проекция на данную поверхность из любой точки заданного пространства будет представлять величину, характеризующую вероятность отношения данного объекта к классу, описываемому данной поверхностью.

Для экспериментальной проверки реакции обученной сети было разработано программное обеспечение, эмулирующее эхосигналы, полученные радаром в районе плавания судна. На входы нейронной сети подавались наборы тестовых данных, подготовленных на основе предложенной классификации. В результате работы нейронная сеть представляла величину, характеризующую отношение наблюдаемого объекта к определенному классу. Оценив результаты отклика нейронной сети на предложенные тестовые наборы данных, была выявлена достаточно высокая точность классификации объектов. Число правильно распознанных объектов составило 96% от общего числа предложенных к идентификации. Принимая во внимание тот факт, что в реальных условиях подавляющее большинство надводных объектов разного типа имеют достаточно отличающиеся характеристики, вероятность неправильной классификации крайне мала.

Следует также отметить, что нейронная сеть имеет возможность обучаться, используя параметры новых объектов наблюдения и районов плавания с характерными признаками ландшафта береговой черты.

В ходе проведенного исследования разработан новый подход к решению задачи распознавания надводных объектов с использованием вероятностной нейронной сети. Предложенная структура нейронной сети оказалась достаточно эффективной; описанный способ идентификации надводных объектов является перспективным и обладает некоторыми преимуществами по сравнению с традиционными системами обнаружения.

Список литературы:

1. *Круглов В. В., Борисов В. В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
2. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
3. *Ясницкий Л. Н.* Введение в искусственный интеллект: учеб. для вузов. – М.: Изд. центр “Академия”, 2005. – 176 с.
4. *Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю.* Нейросетевые системы управления. – М.: Высшая школа, 2002. – 184 с.

Р. Г. Тер – Аракелян, Б. В. Чувькин д.т.н.

Пензенский государственный университет
кафедра информационных вычислительных систем
Россия, г. Пенза
Chuvykin_BV@mail.ru, rt-a@mail.ru

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ.

В статье рассмотрен новый подход для решения задачи оценки максимальной погрешности $\Sigma\Delta$ -модуляторов. Даны математические формулы для синтеза алгоритма цифровой фильтрации, реализующего заданную погрешность аналого-цифрового преобразования. Приведен пример расчета для $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка.

Ключевые слова: $\Sigma\Delta$ -модулятор, $\Sigma\Delta$ -АЦП, энтропийный подход, цифровой фильтр.

В настоящее время сигма-дельта модуляторы широко применяются для построения высокоточных сигма-дельта АЦП ($\Sigma\Delta$ -АЦП), которые используются в системах аналого-цифрового преобразования, в том числе в датчиково-преобразующей аппаратуре. Структура $\Sigma\Delta$ -АЦП содержит в прямом канале преобразования $\Sigma\Delta$ -модулятор, состоящий из аналоговых интеграторов, охваченных импульсной обратной связью, с использованием однобитного ЦАП, на вход которого подается однобитный выходной сигнал Y_n . Ниже на рис.1 представлен вариант структуры $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка [1].

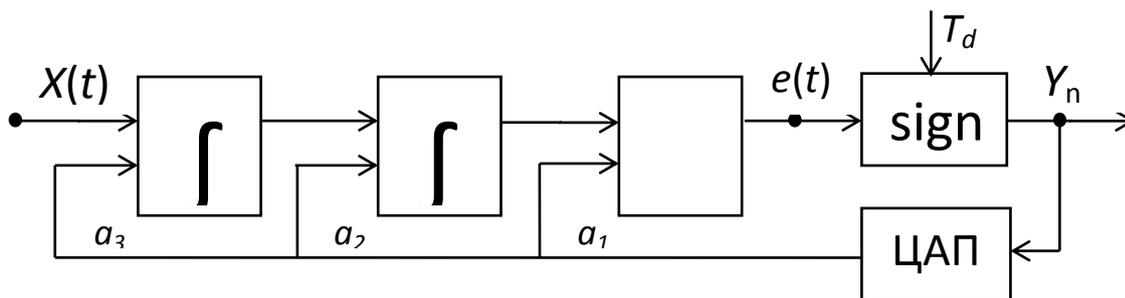


Рисунок 1. Структура $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка.

На бесконечном временном интервале имеет место равенство интегрального значения входной величины и выходной величины: $\bar{X} = \bar{Y}$. На конечном временном интервале имеет место ошибка: $\bar{X} = \bar{Y} + err$, где *err* - ошибка интегрирования.

В работе [2] для среднеквадратической оценки минимально возможной ошибки интегрирования однобитной последовательности сигма-дельта модулятора был предложен энтропийный подход. Как недостаток такого подхода отметим отсутствие методики синтеза алгоритмов цифровой фильтрации, которые обеспечивают реализацию минимально возможной ошибки аналого-цифрового преобразования. Цифровые фильтры, используемые в $\Sigma\Delta$ -АЦП, не обеспечивают такой точности аналого-цифрового преобразования. Поэтому представляет интерес методика синтеза алгоритмов цифровых фильтров, которые обеспечивают погрешность аналого-цифрового преобразования не превышающую верхний предел максимальной погрешности $\Sigma\Delta$ -модуляторов. Известные

методики синтеза алгоритмов цифровых фильтров для $\Sigma\Delta$ -модуляторов основаны на статистических методах частотно-временного анализа сигналов [3,4].

В данной работе предлагается для оценки верхнего предела максимальной погрешности $\Sigma\Delta$ -модуляторов использовать метод декомпозиции. Согласно данному методу, исходную структуру (рис.1) преобразуем в структуру, представленную на рис.2. Это позволяет разделить канал преобразования входного сигнала и канал сигнала обратной связи.

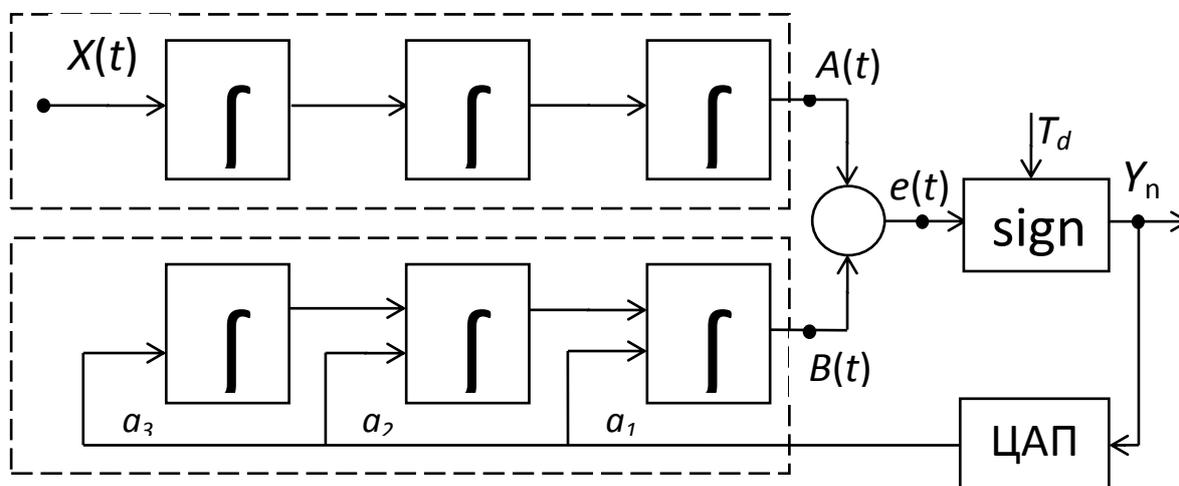


Рис. 2 – Структура $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка, полученная методом декомпозиции.

Разность сигналов канала преобразования входного сигнала $A(t)$ и канала сигнала обратной связи $B(t)$ формирует сигнал ошибки рассогласования $e(t)$, который дискретизируется с шагом T_d и преобразуется в выходную однобитную цифровую последовательность Y_n .

Запишем в явной форме выражение для сигнала ошибки $e(t)$:

$$e(t) = A(t) - B(t) \quad (1)$$

Для постоянного входного сигнала $X_0 = const$ реакция интеграторов описывается выражением:

$$A(t) = \frac{X_0 t^3}{6\tau_1\tau_2\tau_3} \quad (2)$$

где τ_1, τ_2, τ_3 - постоянные времени интеграторов.

Без потери общности можно допустить, что $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = T_d$. Тогда для дискретных моментов времени ($t = T_d n$) из формулы (1) следует:

$$e_n = \frac{X_0 n^3}{6} - B_n \quad (3)$$

Из формулы (3) находим выражение для неизвестной входной величины X_0 :

$$X_0 = \frac{6B_n}{n^3} - \frac{6e_n}{n^3} \quad (4)$$

Для нахождения X_0 , согласно (4) необходимо найти цифровой эквивалент значения B_n , при этом будет иметь место погрешность определения X_0 , равная $err = \frac{6e_n}{n^3}$. Из этого

следует, что поскольку значение амплитуды $e(t)$ ограничено величиной e_{\max} , то максимальная оценка ошибки не будет превышать $\frac{6e_{\max}}{n^3}$.

Для получения цифрового эквивалента B_n необходимо синтезировать цифровой фильтр, импульсная характеристика которого будет совпадать с импульсной характеристикой цепи обратной связи в дискретные моменты времени.

Найдем реакцию цепи обратной связи на единичный импульс, формируемый ЦАП.

$$B(t) = L^{-1} \left\{ \frac{1 - e^{-pT_d}}{p} \left(\frac{a_1}{T_d^3 p^3} + \frac{a_2}{T_d^2 p^2} + \frac{a_3}{T_d p} \right) \right\} \quad (5)$$

Передаточная функция цифрового фильтра, импульсная реакция которого в дискретные моменты времени совпадает с $B(t)$, может быть найдена как Z-преобразование от $B(t)$.

$$H(z) = Z\{B(nT_d)\} \quad (6)$$

Выполним данную процедуру по частям.

$$H_1(z) = Z \left\{ L^{-1} \left[\frac{1 - e^{-pT_d}}{p} \cdot \frac{a_1}{T_d p} \right] \right\} = a_1 \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (7)$$

$$H_2(z) = Z \left\{ L^{-1} \left[\frac{1 - e^{-pT_d}}{p} \cdot \frac{a_2}{T_d^2 p^2} \right] \right\} = a_2 \frac{z^{-1} + z^{-2}}{2(1 - z^{-1})^2} \quad (8)$$

$$H_3(z) = Z \left\{ L^{-1} \left[\frac{1 - e^{-pT_d}}{p} \cdot \frac{a_3}{T_d^3 p^3} \right] \right\} = a_3 \frac{z^{-1} + 4z^{-2} + z^{-3}}{6(1 - z^{-1})^3} \quad (9)$$

Окончательно выражение для $H(z)$ запишем в следующем виде:

$$H(z) = H_1(z) + H_2(z) + H_3(z) = a_1 \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} + a_2 \frac{z^{-1} + z^{-2}}{2(1 - z^{-1})^2} + a_3 \frac{z^{-1} + 4z^{-2} + z^{-3}}{6(1 - z^{-1})^3} \quad (10)$$

Таким образом, цифровой фильтр с данной передаточной функцией будет иметь реакцию с точностью до масштабного коэффициента, совпадающую с реакцией цепи обратной связи $\Sigma\Delta$ -модулятора. В явной форме функцию преобразования $\Sigma\Delta$ -АЦП можно записать как:

$$X_0 = C(Y^*[n] + err), \quad (11)$$

$$\text{где } C - \text{ масштабный коэффициент, } Y^*[n] = \frac{B^*[n]}{n^3}, \text{ } err = \frac{e_{\max}}{n^3 X_{\max}}.$$

Очевидно, что по мере увеличения n ошибка err уменьшается обратно пропорционально n^3 , что дает возможность на этапе синтеза алгоритма цифрового фильтра задавать погрешность $\Sigma\Delta$ -АЦП путем выбора количества тактов работы $\Sigma\Delta$ -модулятора.

В качестве примера ниже приведены результаты расчета в среде Matlab Simulink переходных процессов $\Sigma\Delta$ -модулятора для коэффициентов обратной связи $a_3=1$, $a_2=2$, $a_1=2$ и шага дискретизации $T_d=0,5$. Постоянная времени интегратора равна единице и уровень сигнала обратной связи ± 1 . При таких параметрах максимальное значение входного сигнала, при котором обеспечивается устойчивая работа модулятора, составляет 0,64.

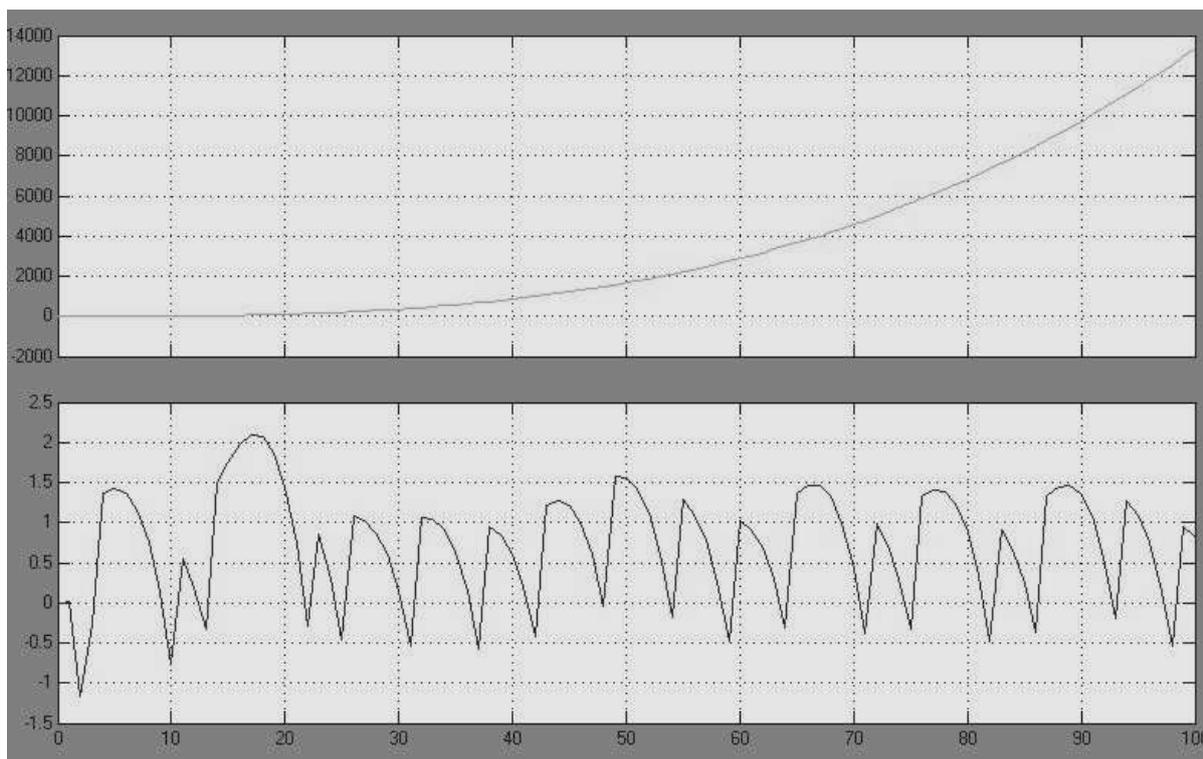


Рис. 3 – Результаты расчета сигналов $A(t)$ (верхний график) и ошибки рассогласования $e(t)$ (нижний график).

Предложенный метод позволяет для выбранного варианта $\Sigma\Delta$ -модулятора синтезировать алгоритм выходного цифрового фильтра и дать аналитическую оценку максимальной погрешности $\Sigma\Delta$ -АЦП.

Список литературы:

1. Delta-Sigma Data Converters: Theory, Design and Simulation. Edited by Steven R. Norsworthy, Richard Schreier, Gabor C. Temes //IEEE Computer Society Press, 1996, 476 p.
2. Тер-Аракелян, Р.Г. Энтропийная оценка информативности сигналов сигма-дельта модулятора третьего порядка // НИИФИ – Пенза, 2011.
3. Каулио В.В. Анализ цифровых фильтров в составе дельта-сигма аналого-цифровых преобразователей // Микропроцессорные средства измерений: Сборник трудов. Выпуск 3, СПб.: Изд-во "Нестор", 2003, С. 45-52.
4. Шахов Э.К. Чувькин Б.В. $\Sigma\Delta$ -АЦП: Цифровая фильтрация и децимация // Датчики и системы. – 2007. – № 2. – С. 44-50

АННОТАЦИИ ABSTRACTS

О.В. Ахметова, И.Ф. Кабиров,
А.И. Филиппов

ЗАДАЧА О КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ В АНИЗОТРОПНОМ СЛОЕ С ИСТОЧНИКАМИ ПРИ НАЛИЧИИ КОНВЕКЦИИ

Рассмотрена задача о квазистационарном аксиально симметричном температурном поле, создаваемом источниками, сосредоточенными в слое, окруженном теплопроводящей средой, при стационарном притоке жидкости к скважине нулевого радиуса при движения жидкости в радиальном направлении. Для решения использован «в среднем точный» асимптотический метод. Получены аналитические выражения для нулевого приближения и первого коэффициента разложения, при условии, что задача для усредненного по сечению потока, остаточного члена имеет тривиальное решение.

Ключевые слова: теплопроводящая среда, стационарный режим, фильтрация, температура, «в среднем точный» асимптотический метод.

А.В. Болдырев, С.В. Болдырев,
С.И. Харчук, С.С. Харчук

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНИЦЫ ВХОДНОЙ ОБЛАСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТРЫВНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ

Исследовано влияние границы входной области на результаты численного моделирования осесимметричного квазистационарного отрывного турбулентного течения несжимаемого газа за диафрагмой. Используются 3 модели турбулентности и 3 конфигурации входной границы. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по распределению на стенке цилиндрического канала коэффициентов трения и давления.

Ключевые слова: входная граница, модель турбулентности, коэффициент трения, коэффициент давления, отрывное турбулентное течение.

Д.Р. Гильмиев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБВОДНЕНИЯ СКВАЖИН ПЕРЕСЕЧЕННЫХ ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Рассмотрен процесс обводнения скважины с трещиной гидроразрыва пласта (ГРП). Исследованы особенности движения фронта вытесняющей жидкости в пласте при наличии техногенных трещин.

Ключевые слова: моделирование, численные методы, гидроразрыв пласта, многофазная фильтрация.

O.V. Ahmetova, I.F. Kabirov, A.I. Filippov

PROBLEM ABOUT A TEMPERATURE FIELD IN AN ANISOTROPIC LAYER WITH SOURCES IN THE PRESENCE OF A CONVECTION

In this work the problem about the temperature field created by sources, concentrated in a layer surrounded with the heat-conducting environment is considered, at a stationary mode of movement of a liquid in a radial direction. For the decision is used at average exact' asymptotic method. Analytical decisions for zero approach, and the first factor of decomposition are received. It is defined that the problem for a residual member has the trivial decision.

Key words: heat-conducting environment, stationary mode, temperature, at average exact, asymptotic method.

A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev, S.I. Kharchuk,
S.S. Kharchuk

ESTIMATION OF INFLUENCE OF BOUNDARY OF INLET REGION ON RESULTS OF MODELLING SEPARATED TURBULENT FLOW

It was researched influence of inlet region's boundary on results of numerical simulation for axisymmetric pseudo-steady separated turbulent flow of incompressible gas behind diaphragm. There were used 3 turbulence models and 3 configurations of inlet boundary. It was carried out comparison of calculated and experimental data of friction and pressure coefficients' distribution on cylindrical channel wall.

Keywords: inlet boundary, turbulence model, friction coefficient, pressure coefficient, separated turbulent flow.

D.R. Gilmiev

MODELLING DYNAMICS OF WATERING OF WELL CROSSED BY HYDRAULIC FRACTURE

Reviewed a process of watering of well crossed by hydraulic fracture. Researched processes of motion of displacing liquid in the system of reservoir-fracture-well.

Keywords: modeling, numerical Methods, hydraulic fracturing reservoir, Multi phase filtration

Д.Л. Егоров, С.А. Кузнецов
КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРУГЛЫХ
ПЛАСТИН НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ СО
ШТАМПАМИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

В работе представлена методика и результаты численно-аналитического решения задачи контактного взаимодействия круглых пластин с жесткими штампами различных форм. Для реализации расчетной схемы написана компьютерная программа. Получены поля распределения контактных напряжений для ряда частных случаев.

Ключевые слова: контактная задача, численное решение, система уравнений, формула Гаусса.

Н.В. Баранова, А.Н. Семенов,
М.А. Феофанова, Ю.В. Францева
СМЕШАНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОНОВ Cu^{2+}
и Ni^{2+} С ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫМ ГЕПАРИНОМ И
НЕКОТОРЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ

В данной работе авторы рассматривают результаты исследования металл-ионного равновесия в системах ион-металла-гепарин-аминокислота. Для идентифицированных комплексных форм авторы установили стехиометрию и рассчитали десятичные логарифмы констант их образования.

Ключевые слова: гепарин, аминокислота, комплексные соединения, константы образования.

Е.А. Аликин, А.С. Афанасьев, А.С. Волков,
А.С. Карпов, М.А. Машковцев, О.И. Ребрин
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ
СУШКИ РАСТВОРОВ НИТРАТОВ НА СВОЙСТВА
ПОЛУЧАЕМОЙ ОКСИДНОЙ СИСТЕМОЙ Ce-Zr-Al-O

В статье представлены результаты исследования свойств оксидной системы Ce-Zr-Al-O, полученной методом распылительной сушки. В работе выявлены основные закономерности в изменении свойств при температурном старении композиции.

Ключевые слова: термическая стабильность, оксидная система, оксид церия, оксид циркония, оксид алюминия.

С. Алтайулы
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ
ФОСФОЛИПИДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОДСОЛНЕЧНЫХ
МАСЕЛ ПРИ УДАЛЕНИЕ ВЛАГИ В РОТАЦИОННО-
ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ

Рассмотрена математическая модель гидродинамики цилиндрическом ротационно-пленочном аппарате в процессе влагоудаления из фосфолипидной эмульсий подсолнечных масел. Модель позволяет исследовать характер движения жидкости в аппарате, оптимизировать конструктивные параметры установки и технологические параметры теплообмена.

Ключевые слова: ротационно-пленочный аппарат, фосфолипидная эмульсия, гидродинамика, тепло- и массообмен.

D.L. Egorov, S.A. Kuznetsov
THE CONTACT INTERACTION OF PLATTERS ON
AN ELASTIC FOUNDATION STAMPED BY
VARIOUS FORMS

The paper presents numerical-analytical solution to the problem of contact interaction of a circular plate with rigid stamps of different shapes. To implement the design scheme is written a computer program. Obtained fields of contact stress distribution for a few special cases.

Keywords: the numerical decision, a contact problem, system of the equations, formula of Gauss.

N.V. Baranova, A.N. Semenov,
M.A. Feofanova, Yu.V. Frantseva
MIXED-LIGAND COMPLEXES OF IONS Cu^{2+} AND
 Ni^{2+} WITH HIGH MOLECULAR WEIGHT HEPARIN
AND SOME AMINO ACIDS

In the given work the authors consider findings of investigation of metal-ion balance in systems "metal ion – heparin – amino acid". For identified complex forms the authors established stoichiometry and calculated denary logarithms of constant of their formation.

Keywords: heparin, amino acid, complex, constants of formation.

E.A. Alikin, A.S. Afanasiev, A.S. Volkov,
A.S. Karpov, M.S. Mashkovtsev, O.I. Rebrin
RESEARCH OF INFLUENCE SPRAY-TYPE DRYING
OF NITRATES SOLUTIONS ON Ce-Zr-Al-O
OXIDE SYSTEMS PROPERTIES

This paper presents the results of the study of main properties of Ce-Zr-Al-O oxides system, prepared by spray-type drying method. There is main properties overpatching patterns are presented at this article.

Keywords: thermal stability, oxides system, cerium oxide, zirconium oxide, aluminum oxide.

S. Altaiuly
MODELING HYDRODYNAMICS EMULSIONS
PHOSPHOLIPID SUNFLOWER OIL FOR DRYING
OF IN ROTARY-FILM APPARATUS

A mathematical model of the hydrodynamics of a cylindrical rotary-film apparatus in the process of removing moisture from the phospholipid emulsion of sunflower oil. The model allows us to study the motion of fluid in the device, to optimize the design parameters of the installation process parameters and heat mass exchange.

Keywords: rotary-film apparatus, phospholipid emulsion, fluid dynamics, heat and mass transfer.

В.Л. Балдин, А.П. Буйносов
ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ
ЛОКОМОТИВОВ

В статье описаны бесконтактные методы измерения параметров колесных пар при движении локомотива. Приведены требования к системе оперативного контроля элементов профиля колесных пар. Полученные алгоритмы и технические решения положены в основу создания автоматизированной системы обмера колесных пар.

Ключевые слова: Локомотив, колесная пара, автоматизированное измерение, решение.

Т.Х. Бадретдинов, А.Г. Горюнов,
В. А. Курочкин
СИСТЕМА ТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ
МАТЕРИАЛОВ

Предложено решение для модернизации системы дозирования сыпучих материалов, состоящей из бункера, шнекового питателя, привода питателя, системы автоматизированного управления процессом дозирования.

Ключевые слова: шнековый питатель, пламенный реактор, аппарат комбинированного типа, электропривод, система автоматизированного управления, бункер.

В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ
ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ
ШУХАРТА

Рассматривается управление качеством продукции с использованием карт Шухарта на примере обжига известняка в производстве кальцинированной соды. Выявлены основные причины нарушений технологического режима. Определены мероприятия, проведение которых необходимо для разрешения возникающих проблем. Представлена последовательность поиска управляющих воздействий. Показана эффективность такого управления качеством.

Ключевые слова: обжиг известняка, качество продукции, параметры технологического режима, карты Шухарта.

И.В. Березин, П.Д. Кравченко,
Д.Н. Федоренко, И.М. Яблоновский
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ПРИ СОЗДАНИИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ
УСТРОЙСТВ

Статья посвящена особенностям процедуры поиска во время нахождения лучшего технического решения при создании автоматических грузозахватных устройств. Описаны несколько изобретений устройств для работы в радиоактивной зоне при действии силы тяжести.

V.L. Baldin, A.P. Buinosov
CHOICE OF THE TECHNICAL DECISION FOR THE
AUTOMATED MEASUREMENT OF PARAMETERS
OF WHEEL PAIRS AT MOVEMENT OF
LOCOMOTIVES

In article contactless methods of measurement of parameters of wheel pairs are described at locomotive movement. Requirements are led to system of operative control of elements of a profile of wheel pairs. The received algorithms and technical decisions are taken as a principle creations of the automated system of measurement of wheel pairs.

Key words: The locomotive, the wheel pair, the automated measurement, the decision.

T.H. Badretdinov, A.G. Gorunov,
A.V. Kurochkin
SYSTEM OF PRECISION DOSING BULK
MATERIALS

Solution for upgrading the system feeding of bulk materials consisting of a bunker, screw feeder, feeder drive, automated process control dosing was proposed.

Keywords: screw feeder, fiery reactor, apparatus of the combined type, electric, automated control system, bunker.

V.F. Becker, M.G. Grebeneva
QUALITY MANAGEMENT OF THE ROASTING
PROCESS OF LIMESTONE USING SHEWHART-
CARDS

We consider product quality control using the Shewhart-card for example roasting of limestone in the production of soda ash. The basic causes of violations of the technological regime. Sets out conduct which is necessary for resolution of problems. Shows the sequence of action-control actions. The efficiency of such quality management.

Keywords: roasting limestone, product quality, technological parameters of the regime, Shewhart-card.

I.V. Berezin, P.D. Kravchenko,
D.N. Fedorenko, I.M. Yablonovsky
PRACTICAL METHOD OF USING HEURISTIC
PROCEDURE DURING PROCESS OF CREATION
OF AUTOMATIC GRIPPER DEVICES

Peculiarity of search procedure during solving the problem of new construction of automatic gripper devices creating process is represented. Description of several inventions of gripper devices for operating in radioactive zone under action of gravity is shown.

Keywords: automatic load handling devices, Heuristic

search of the decision.

Ключевые слова: автоматические грузозахватные устройства, эвристический поиск решения

А.В. Бродский, С.Н. Падалко
РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ
ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛА

Статья посвящена актуальным вопросам разработки гибридных интеллектуальных для управления летательным аппаратом. Приводится общая структура и принципы данного построения.

Ключевые слова: гибридная интеллектуальная система, вычислительная модель, виртуальное вычислительное оборудование.

В.И. Воронов, В.В. Михайлов, С.И. Рощина
РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МНОГОПУСТОТНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ
СТЕНДОВОГО БЕЗОПАЛУБОЧНОГО
ФОРМОВАНИЯ

В статье изложены результаты натурных испытаний многопустотных железобетонных плит стендового безопалубочного формования, армированных канатами К-7, с последующей разрезкой ленты на отдельные плиты требуемой длины. Полученные результаты проанализированы, где обращено внимание на опасный с точки зрения надежности характер разрушения испытанных плит.

Ключевые слова: железобетонные плиты, испытания, несущая способность, разрушение, прогибы, напряжение, арматура, трещины, характер и случай разрушения.

С.С. Голубев
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ
ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

Рассмотрен элементный подход при определении приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Описана последовательность расчета приведенного сопротивления теплопередаче на примере трехслойной железобетонной панели типа МН-7 111М строительной системы.

Ключевые слова: приведенное сопротивление теплопередаче, коэффициент теплотехнической однородности, плоские элементы, линейные элементы, точечные элементы.

В.Д. Горбачев, И.Е. Кузнецов
МЕТОДИКА
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА
ПОЛЕЙ МЕТЕОВЕЛИЧИН В УСЛОВИЯХ
ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТЕОИНФОРМАЦИИ

A.V. Brodsky, C.N. Padalko
CONSTRUCTION DESIGN PRINCIPLES OF
HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS FOR THE
MANAGEMENT OF LA

This article is devoted to current issues in the development of hybrid intelligent control for aircraft. We provide the overall structure and principles of this construction.

Keywords: hybrid intelligent system, computer model, virtual computing equipment

V.I. Voronov, V.V. Mihajlov, S.I. Roshchina
RESULTS OF NATURAL TESTS OF
MULTIHOLLOW FERRO-CONCRETE PLATES
MADE ON THE STAND WITHOUT USE OF THE
TIMBERING

In the report results of natural tests of multihollow ferro-concrete plates made on the stand without use of the timbering, reinforced by ropes K-7, from the tape subsequent by division into separate plates of the demanded length are stated. The received results are analysed, where the attention to character of destruction of the tested plates dangerous from the point of view of reliability is paid.

Keywords: ferro-concrete plates, the tests, bearing ability, destruction, deflections, pressure, armature, cracks, character and a destruction case.

S.S. Golubev
DETERMINATION OF REDUCED RESISTANCE TO
HEAT TRANSFER OF FENCING WALL BASED ON
NUMERICAL CALCULATION OF DISTRIBUTION
OF TEMPERATURE FIELDS

The elemental approach to determine the reduced resistance to heat transfer of fencing wall is considered. The sequence of calculating the reduced resistance to heat transfer is described on the example of three-layer reinforced concrete panel type МН-7 of 111М construction system.

Keywords: reduced resistance to heat transfer, thermal uniformity factor, flat elements, linear elements, point elements.

V.D. Gorbachev, I.E. Kuznetsov
METHODS OF SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS IN
THE FIELDS
METEOVARIABLES LIMITATIONS OF
METROLOGICAL INFORMATION

В работе предлагается методика пространственно-временного анализа полей метеорологических величин, основанная на модели фильтрации и экстраполяции Калмана и реализованная на примере восстановления поля метеорологической дальности видимости.

Ключевые слова: методика, радиолокационные измерения, метеорологическая дальность видимости, осадки, ошибки.

К.Л. Горшкова, А.Р. Садыков,
Л.Ф. Фархутдинов
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В
УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМАМИ НА ПРИМЕРЕ
РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УРОВНЯ
ЖИДКОСТИ В ЁМКОСТИ

В работе представлены результаты изучения возможности применения нечёткого регулирования при создании системы регулирования уровня жидкости в ёмкости.

Ключевые слова: нечеткое регулирование, нечеткая логика, нечеткий регулятор, редактор правил, технические системы.

А.Г. Горюнов, Н.Н. Горюнова, Д.Г. Рогозный
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
АФФИНАЖА УРАНА ПУТЕМ КАЧЕСТВЕННОГО
УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ
ЭКСТРАКТОРОВ

Рассмотрены основные положения системы автоматического управления экстракционным каскадом, позволяющей повысить эффективность технологического процесса аффинажа концентратов урана.

Ключевые слова: математическое моделирование, экстракция, центробежный экстрактор, система автоматического управления.

А.А. Ермаков, С.Н. Падалко
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СФЕРЕ
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ:
ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ
МИКРООРГАНИЗМОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Задача обнаружения микроорганизмов на изображении является более чем простой для человеческого зрения, однако при попытке построения автоматической системы обнаружения микроорганизмов приходится столкнуться со многими сложностями. Существующие алгоритмы обнаружения микроорганизмов можно разбить на две широкие категории. К первой категории относятся методы, отталкивающиеся от опыта человека в распознавании микроорганизмов и делающие попытку формализовать и алгоритмизировать этот опыт, построив на его основе математическую модель распознавания. Вторая категория опирается на инструментарий распознавания образов, рассматривая задачу обнаружения микроорганизмов, как частный случай задачи распознавания.

The paper proposes a method for spatial-temporal analysis in the fields of metrological variables, based on a models of Kalman filtering and the extrapolation and implemented by the example of the restoration field metrological visibility range.

Keywords: method, radar measurements, the metrological rang of visibility, precipitation, errors.

K.L. Gorshkova, A.R. Sadykov,
L.F. Farkhutdinov
FUZZY LOGIC USE IN SYSTEMS MANAGEMENT
BY THE EXAMPLE OF CONTROL OF DYNAMIC
FLUID LEVEL IN TANK

This paper presents study results of possibility of fuzzy control use at development of fluid level control system in tank.

Keywords: fuzzy control, fuzzy logic, fuzzy controller, rule editor, technical system.

A.G. Gorunov, N.N. Gorunova, D.G. Rogozny
IMPROVING THE EFFICIENCY OF URANIUM
REFINING BY MEANS OF HIGH QUALITY
CONTROL OF CENTRIFUGAL EXTRACTORS
CASCADE

The main provisions of the automatic control system of extraction cascade which helps to improve the efficiency of uranium concentrates refining were considered.

Keywords: mathematical modeling, extraction, centrifugal extractor, automatic control system.

A.A. Ermakov, S.N. Padalko
MATHEMATICAL METHODS IN THE SPHERE OF
MICROBIOLOGICAL SAFETY: DETECTION AND
LOCATION OF MICROORGANISMS ON THE
IMAGE

The task of detecting microorganisms on the image is quite simple for the trained human vision, however at attempt to generate automatic microorganisms detection system one has to encounter many complications. The existing microorganism detection algorithms can be divided into two wide categories. The methods which are using personal experience in recognition of microorganisms are refer to the first category and trying to formalize and make an algorithm to this experience, which can be used for further development of the mathematical model of such recognition. The second category relies on toolkit of pattern recognition and considers detection problem of microorganisms as a special case of pattern recognition. It is easy enough to collect a set of simple and obvious properties of the microorganism's image. Based on these properties, it is

Ключевые слова: математическая модель, биологическая безопасность, искусственная нейронная сеть, медицинский контроль.

possible to develop an algorithm of recognition of the microorganisms, checking their presence on microorganism's image. In this paper we set up key parameters of recognition from the point of view of development of a mathematical model of a microorganism's recognition for medical and biologic control of human's habitat, including in an extreme situation of manned space flight and conditions.

Keywords: mathematical model, biological safety, artificial neuron network, medical control.

А.А. Ермаков, С.Н. Падалко,
Л.Б. Строгонова, П.А. Фомкин
ПРОЕКТ УСТАНОВКИ АППАРАТНО-
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО
РАСПОЗНАВАНИЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ НА БОРТ ОБИТАЕМОГО
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В статье дается обзор микробиологических рисков в процессе космического полета. Предлагается установка программно-аппаратного комплекса как часть мер по противодействию микробиологическим угрозам.

Ключевые слова: микробиологическая безопасность, распознавание образов, программно-аппаратный комплекс.

А.С. Жив, Б. Р. Исакулов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИЗОВАННЫХ ЛЕГКИХ
БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В работе рассматриваются исследования прочностных и деформативных свойств поризованного арболита из отходов промышленности и растительного сырья республик Центральной Азии в виде строительных материалов. Рассматривается характер и механизм разрушения материала

Ключевые слова: отходы, бетон, арболит, деформация

А.А. Жигайлов, С.А. Куюков, А.Н. Шуваев
ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ НА
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТОГРУНТА
С ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКОЙ

В работе представлены результаты изучения влияния плотности на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой NTS.

Ключевые слова: цементогрунт, полимерная добавка, коэффициент уплотнения.

С.В. Змановский, В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, А.В.
Шалунов
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВА
АЛЮМИНИЯ

А.А. Ermakov, S.N. Padalko,
L.B. Strogonova, P.A. Fomkin
SETUP PROJECT OF HARDWARE-SOFTWARE
COMPLEX FOR SPACECRAFT ON BOARD
DETECTION OF MICROBIAL OBJECTS

This article provides an overview of microbiological risks in the process of spaceflight. We provide suggestion to install the hardware-software complex as part of measures to counter microbial threats.

Keywords: microbiological safety, pattern recognition, hardware-software complex

А.С. Zhiv, B.R. Isakulov
RESEARCH OF STRONG CHARACTERISTICS OF
EASY CONCRETE ON THE BASIS OF A WASTE
OF THE INDUSTRY AND VEGETATIVE RAW
MATERIAL OF THE CENTRAL ASIA

The given article is concerned with the investigation of strength and deformation properties of parolite as building material from industrial waters and plant raw materials of the Republics of Central Asia. The character and mechanism of material destruction are considered.

Keywords: waste, concrete, arbolite, deformation

А.А. Zhigailov, S.A. Kuyukov, A.N. Shuvaev
INFLUENCE OF DEGREE OF CONSOLIDATION ON
THE BASIC CHARACTERISTICS GROUND
STRENGTHENED BY CEMENT WITH THE
POLYMERIC ADDITIVE

In work results of studying of influence of density on the basic characteristics цементогрунта with polymeric additive NTS are presented.

Keywords: ground strengthened by cement, polymeric additive, consolidation factor.

С.В. Zmanovsky, V.N. Khmelev,
S.N. Tsyganok, A.V. Shalunov
USAGE OF ULTRASONIC VIBRATIONS FOR
INCREASE IN EFFICIENCY OF ALUMINIUM MELT
ATOMIZING

The article is devoted to usage of mechanical vibrations

Статья посвящена применению механических колебаний ультразвуковой частоты в технологии получения порошка алюминия. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности ультразвукового воздействия – увеличилось количество мелкодисперсной фракции алюминиевого порошка.

Ключевые слова: ультразвук, распыления металлов, порошковая металлургия, ультразвуковая колебательная система.

А.С. Ильин

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАШЕНИЯ ДУГИ В ЭЛЕГАЗОВОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С РЕАЛЬНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

В статье изложена новая методика расчета процессов в дугогасительном устройстве элегазового высоковольтного выключателя, приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных. Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов показало их удовлетворительное совпадение, что позволяет сократить объем экспериментальных исследований при разработке коммутационной аппаратуры.

Ключевые слова: электрическая дуга; элегазовый выключатель высокого напряжения; гашение дуги; моделирование процесса.

Б.Р. Исакулов

МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ПОРИЗОВАННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ И РАЗЛИЧНЫХ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯХ

В работе рассматриваются методики испытаний ползучести поризованных легких бетонов при длительном нагружении и различных сжимающих напряжениях. Определены значения меры ползучести при различном уровне напряжениях.

Ключевые слова: бетон, ползучесть, поризованный арболит, деформация

А.В. Казбеков

ГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИММЕТРИИ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В статье рассмотрены два метода определения симметрии объектов на цифровых изображениях, использующие информацию о величине и направлении вектор-градиента.

Ключевые слова: вектор-градиент, симметрия, контур, распознавание образов.

of ultrasonic frequency at technology of aluminum powder obtaining. The results of investigations are show efficiency of ultrasonic influence. Thus, quantity of fine-dispersed fraction of aluminum powder is increased.

Keywords: ultrasound, atomizing of metals, powder metallurgy, ultrasonic oscillatory system.

A.S. Ilyin

ARC QUENCHING PROCESSES SIMULATION IN SF₆ HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKER AND COMPARISON OF CALCULATION WITH TEST RESULTS

This issue highlights a new method of arc quenching device processes calculation for High Voltage SF₆ Circuit Breakers and comparison of modeling results with tests results. The comparison of modeling results with tests results shows satisfactory coincidence it means that this method could to decries experimental investigation volume during designing of new switchgear.

Keywords: electric arc; SF₆ high voltage circuit breaker; arc distinguishing; model of process.

B.R. Isakulov

TECHNIQUE OF TESTS OF CREEP EASY CONCRETE AT LONG TO LOADING AND VARIOUS COMPRESSING PRESSURE.

The given article deals with the techniques of creeping paroles light concretes under long loads and different compressed tresses creeping values under different levels of stresses are given

Keywords: concrete, creep, arbolite, deformation.

A.V. Kazbekov

GRADIENT METHOD FOR DETERMINING THE
SYMMETRY OBJECTS ON DIGITAL IMAGES
Gradient method for determining the symmetry objects on digital images
The paper considers two methods for determining the symmetry of objects in digital images, using information about the magnitude and direction of the vector gradient.

Keywords: vector gradient, symmetry, contour, pattern recognition.

Б.В. Казбеков, Н.А. Максимов,
И.С. Пуртов, Д.П. Синча

ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БЛА НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье описаны основные этапы работы алгоритма локализации местоположения беспилотного летательного аппарата (БЛА), основанного на анализе ключевых признаков изображения и их дальнейшей обработки. Представлены результаты работы алгоритма поиска изображения в графической базе данных, представляющей собой набор тестовых снимков, полученных с бота БЛА.

Ключевые слова: ключевые признаки изображения, SIFT, SOM, кластеризация, локализация местоположения БЛА.

В.И. Калашников, А.В. Хвастунов,
В.Л. Хвастунов

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИГРОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВО- АКТИВИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ БЕТОНОВ И ФИБРОБЕТОНОВ С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА НА ЕДИНИЦУ ПРОЧНОСТИ

В статье содержится комплекс физико-механических и гигрометрических свойств высокоэффективных порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низкими удельными расходами цемента на единицу прочности в пределах 2,5-5,0 кг/МПа, с максимальным использованием в их составе местных тонкозернистых кварцевых песков фракции 0,14-0,63 мм и техногенных отходов металлургической, энергетической, горно-обогатительной промышленности. Такие бетоны разработаны впервые в России и соответствуют или даже превосходят по показателям зарубежные аналоги.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, структура, плотность, деформации, пористость, водопоглощение, усадка, ползучесть, тонкозернистый песок, каменная мука, гиперпластификатор.

В.Ю. Кара-Ушанов, С.П. Кудрявцева
РЕИНЖИНИРИНГ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО
«УРАЛАСБЕСТ»

В работе выполнен структурный анализ бизнес-процессов контроля качества продукции на предприятии. По результатам анализа произведен реинжиниринг действующей системы контроля качества. Создана база данных о продукте и параметрах технологического процесса, а также OLAP-система для многомерного анализа показателей качества готовой продукции.

Ключевые слова: хризотил-асбест, функциональное моделирование, реинжиниринг, система управления

B.V. Kazbekov, N.A. Maksimov, I.S. Purto, D.P.
Sinha

UAV COORDINATES LOCALIZATION BASED ON THE RECOGNITION OF THE UNDERLYING SURFACE IMAGES

This paper presents the basic working stages of the pilotless vehicle (PV) localization algorithm, based on the analysis and further evaluation of image features. The results of working of algorithm searching images in graphical database, which is a set of test photos achieved from UAV, are presented.

Keywords: image features, SIFT, SOM, cluster analysis, PV.

V.I. Kalashnikov, A.V. Khvastunov, V.L. Khvastunov
PHYSICO-MECHANICAL AND HYGROMETRIC
PROPERTIES OF POWDER-ACTIVATED HIGH-
STRENGTH GRAVEL CONCRETE AND FIBER-
REINFORCED GRAVEL CONCRETE WITH A LOW
SPECIFIC CONSUMPTION OF CEMENT PER UNIT
OF STRENGTH

The article contains a complex of physical and mechanical and hygrometric properties of powder-activated high-strength gravel concrete and fiber reinforced gravel concrete with a low specific consumption of cement per unit of strength in the range of 2,5-5,0 kg / MPa, with maximum use of their part of the local fine-grained quartz sand 0,14-0,63 mm fraction and industrial waste metals, energy, mining and minerals processing industries. These concretes are designed for the first time in Russia and meet or exceed their foreign counterparts on indicators.

Keywords: high-strength concrete, texture, density, strain, porosity, water absorption, shrinkage, creep, fine-grained sand, rock flour, hyper plasticizer.

V.Y. Kara-Ushanov, S.P. Kudryavtseva,
REENGINEERING OF THE QUALITY CONTROL
SYSTEM

*ON THE ENTERPRISE OF JSC «URALASBEST»
In this work the structured analysis for the business processes on the quality control in enterprise is executed. On the result of analysis the reengineering of the initial quality control system was realized. The database on product and technological process parameters was created. The OLAP-system for the multidimensional analysis of the quality indices of finished production was created too.*

Keywords: chrysotile-asbestos, functional modeling, reengineering, quality control system, database, OLAP-

Н.Н. Карнаухов, Ш.М. Мерданов,
И.А. Пустовалов, А.В. Яркин
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ТЕПЛОВОГО АККУМУЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ
СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье представлена методика определения параметров теплового аккумулятора двигателя строительной машины, а также рабочий процесс аккумулятора описывающий все этапы его работы. Конструкция теплового аккумулятора представляет собой чехол, закрепленный с внешней стороны двигателя. Тепловой аккумулятор за счет поглощения выделяемого двигателем тепла, способен поддерживать температуры двигателя в течение межсменной стоянки с целью обеспечения надежного запуска двигателя строительной машины. Использование теплового аккумулятора позволяет снизить эксплуатационные затраты на использование техники.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, эксплуатация строительных машин, зимние условия, предпусковая подготовка, тепловой аккумулятор.

А.В. Картуков, Г.В. Меркишин,
А.И. Репин
КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА И
ИДЕНТИФИКАЦИИ МАРКИ ТОПЛИВА
ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований для задачи анализа и идентификации качества и марки топлива (жидкости) оптическими средствами. Используются угол рефракции лазерного луча в парах жидкости и характеристики ее испарения

Ключевые слова: распознавание, идентификация жидкостей, лазерный луч, рефракция.

И.С. Колбин
РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАЛИЗОВАННЫХ
РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ СЕТЕЙ

В работе предлагается использование сетей нормализованных радиально-базисных функций для решения стационарных задач математической физики. Приведены результаты нейросетевых решений для набора характерных задач с известными аналитическими решениями. На основе модельных примеров показана работоспособность подхода.

Ключевые слова: решение краевых задач, бессеточные методы, искусственные нейронные сети, ИНС, нормализованные радиально-базисные сети, НРБС.

N.N. Karnauhov, Sh.M. Merdanov,
I.A. Pustovalov, A.V. Yarkin
THE METHOD OF CALCULATING HEAT
ACCUMULATOR FOR ENGINE BUILDING
MACHINES

The article presents a method for determining the parameters of the heat accumulator engine of construction machines, and workflow accumulator describing all stages of his work. The design of the thermal battery is a cover, fastened on the outside of the engine. Heat accumulator due to absorption of heat from the engine is able to maintain engine temperature between parking to ensure a reliable engine start building machine. Using the heat accumulator can reduce operating costs by using technology.

Keywords: internal combustion engine, operation of construction machinery, winter conditions, pre-launch preparations, the thermal battery.

A.V. Kartukov, G.V. Merkishin, A.I. Repin
COMPLEX USING OF PHYSICAL PARAMETRES
FOR ANALISING AND RECOGNITING FUELS
TAPE BY OPTICAL METHOD

This paper presents the results of experimental investigating the liquid by optical method. It is using refraction of lasers beam over service of liquid. It is regards the refractions angle and time for photocurrents variation.

Keywords: identification of fuel, lasers beam, refraction.

I.S. Kolbin
SOLUTION OF STATIONARY PROBLEMS OF
MATHEMATICAL
PHYSICS USING NORMALIZED RADIAL BASIC NE
TWORKS

The paper proposes the use of networks of normalized radial basis functions for solving stationary problems in mathematical physics. This article presents the results of neural network solutions for a set of specific problems with known analytical solutions. The article shows the efficiency of the approach based on model examples.

Keywords: solution of boundary problems, meshless methods, artificial neural networks, ANN, normalized radial basis function neural networks, NRBF.

С.А. Колегов

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Рассмотрены тепловые потоки в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью и управление ими за счет подведения СОТС.

Ключевые слова: абразивная обработка, резание, СОТС, теплообмен, теплопроводность, температура в зоне обработки, шлифование.

И.С. Коновалов, В.И. Матюхин,

О.В. Матюхин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИСПЕРСНОМ СЛОЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

На основании экспериментальных исследований температурных полей по сечению агрегата и анализу газовых проб было установлено наличие существенной неравномерности в распределении температурных и скоростных полей. Разработан способ интенсификации тепловой и газодинамической работы шахтных печей.

Ключевые слова: шахтные печи, удельный расход воздуха, неравномерность газораспределения, радиальная и окружная температуры.

И.Е. Кузнецов к.г.н.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ В ОСАДКАХ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В работе предлагается методика оценки ошибки определения метеорологической дальности видимости в осадках, основанная на модели измерения радиолокационной отражаемости облаков и осадков, а также на модели связи радиолокационной отражаемости осадков и метеорологической дальности видимости в них.

Ключевые слова: методика, радиолокационные измерения, метеорологическая дальность видимости, осадки, ошибки.

Ю.М. Кузовников, В.Н. Хмелев,

С.Н. Цыганок

РАЗРУШЕНИЕ МАСЛЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Статья посвящена поиску решения проблемы разрушения устойчивых масляных эмульсий за счет воздействия широкополосными ультразвуковыми колебаниями вторичного излучения, формируемого кавитацией.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, эмульсия, разделение

S.A. Kolegov

THE THERMAL PROCESSES AT GRINDING

Thermal streams in a zone of contact of a grinding circle with a processed surface and management of them at the expense of leading COTC are considered.

Key words: abrasion, cutting, the SCTE, interchange of heat, conductance, zone temperature, grinding.

I.S. Konovalov, V.I. Matyukhin,

O.V. Matyukhin

DEVELOPMENT OF HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES IN DISPERSED LAYER BY ACOUSTIC INTENSIFICATION METHOD

Based on experimental studies of temperature fields in the cross section of the unit and the analysis of gas samples established the presence of substantial non-uniformity of temperature distribution of velocity fields. Was developed intensification method of heat and gas dynamics work of the shaft furnace.

Keywords: blast furnace, air unit discharge, the uneven gas distribution, radial and district temperatures.

I.E. Kuznetsov

METHODS OF ESTIMATING THE ERROR IN DETERMINING THE METROLOGICAL VISIBILITY RANGE IN PRECIPITATION ACCORDING TO RADAR OBSERVATION

The paper proposes a method of estimating the error in determining the metrological visibility range in precipitation based on radar reflectivity measurement models of clouds and precipitation and radar reflectivity models lines rainfall and meteorological visibility range in them.

Keywords: method, radar measurements, the metrological rang of visibility, precipitation, errors.

Yu. M. Kuzovnikov, V.N. Khmelev,

S.N. Tsyganok,

BREAKING OF WATER AND OIL EMULSION DURING ULTRASONIC TREATMENT

The article is devoted to studying of destruction of stable water and oil emulsion during broadband cavitation vibrations.

Keywords – ultrasound, cavitation, emulsion, separation.

О.С. Лехов, Е.Ю. Раскатов,
Д.А. Соловьев

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ
ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Представлены результаты решения задачи определения напряженно-деформированного состояния металла в мгновенном очаге деформации при пилигримовой прокатке труб. Приведены графики изменения напряжений по длине и периметру мгновенного очага деформации.

Ключевые слова: мгновенный очаг деформации, тонкостенная труба, сжимающие и растягивающие напряжения, подача, калибр.

А.А. Матушкин, В.В. Терентьев,
А.А. Яковлев

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЫХОДНЫХ УСТРОЙСТВ
ГТД СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В статье приведен алгоритм подготовки и исследования моделей узлов и элементов ГТД. Представлен опыт разработки экспериментальных моделей выходных устройств ГТД сложной формы при использовании расчётных программ (CAE) для анализа возможности изготовления образцов методом стереолитографии (SLA).

Ключевые слова: выходные устройства, математическое моделирование, САД моделирование, САЕ анализ, быстрое прототипирование, стереолитография.

А.О. Махорин
СМЕШАННО-ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ
ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ

Рассмотрена задача планирования периодического технического обслуживания (ПТО) пассажирских самолетов, выполнена формализация этой задачи и дана ее формулировка в терминах модели смешанно-целочисленного линейного программирования (СЦЛП), что позволяет использовать для решения указанной задачи существующие эффективные методы класса ветвей и отсечений.

Ключевые слова: планирование технического обслуживания самолетов, смешанно-целочисленное линейное программирование, методы ветвей и отсечений.

Е.Н. Минаев
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В СИСТЕМЕ
КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ СМЕШАННЫХ
ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Представлен метод расчета параметров электрического поля в системе катодной защиты от коррозии плоских металлических поверхностей,

O.S. Lehov, E.Yu.Raskatov, D.A. Solovyev
MODE OF DEFORMATION OF METAL IN THE
DEFORMATION ZONE DURING PILGER ROLLING
OF PIPES

The results of solving the problem of mode of deformation zone of metal in the instantaneous deformation zone during pilger rolling pipes are set out. The diagrams of variation of stresses along the length and perimeter of the instantaneous deformation zone are demonstrated.

Keywords: instantaneous deformation zone, a thin-walled tube, the compressive and tensile stress, batch, groove

A.A.Matushkin, V.V.Terentev,
A.A. Yakovlev
CREATING A MODEL OUTPUT DEVICES GTE
COMPOSITE FORM

In this article an algorithm for training and study models of components and elements of the GTE. The experience in the development of experimental models of GTE output devices of complex shape using computer codes (CAE) to analyze the possibility of preparing samples using stereolithography (SLA).

Keywords: output devices, rapid prototyping, SLA, mathematical modeling.

A.O. Makhorin
MIXED INTEGER PROGRAMMING MODEL OF
LONG-TERM PASSENGER AIRCRAFT
MAINTENANCE SCHEDULING

This article is dedicated to the long-term passenger aircraft maintenance scheduling problem. It is shown how to formalize this problem and formulate it in terms of the mixed-integer linear programming model that allows solving this problem with existing efficient branch-and-cut methods.

Keywords: aircraft maintenance scheduling, mixed integer linear programming, branch-and-cut methods.

E.N. Minaev
THE METHOD OF CALCULATION ELECTRICAL
FIELD IN THE
SYSTEM OF CATHODIC PROTECTION WITH
MIXED BOUNDARY
CONDITION

The method for calculation of electrical current in the system of cathodic protection against corrosion is

контактирующих с агрессивными жидкими средами, который позволяет свести смешанную краевую задачу для потенциала с граничными условиями второго и третьего рода к третьей краевой задаче. Метод позволяет рассчитать распределение потенциала по защищаемой поверхности, если задан ток на аноде. Представлены результаты расчёта для стали в морской воде.

Ключевые слова: электрическое поле, расчёт, коррозия, катодная защита

В.В. Михайлов, С.И. Рощина, П.Б. Шохин
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРЫ
ПОЛЗУЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Представлены результаты экспериментального определения меры ползучести по данным длительных испытаний армированных и неармированных образцов.

Ключевые слова: мера ползучести, армированная древесина, длительные испытания, изгиб, внецентренное сжатие.

Е.А. Никитина
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА
ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
ЗАГОТОВКИ В ТРЕХФАЗНОМ МАГНИТНОМ
ПОЛЕ

В работе представлены результаты исследования системы индукционного нагрева цилиндрической заготовки в трехфазном магнитном поле перед пластической деформацией с целью определения энергетических параметров процесса нагрева.

Ключевые слова: индукционный нагрев, трехфазное магнитное поле, моделирование, цилиндрическая заготовка.

Е.Ю. Раскатов
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ
ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ
ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ

Описана математическая модель и приведены результаты перемещений металла в мгновенном очаге при пилигримовой прокатке труб.

Ключевые слова: моделирование, обжатия, калибровка, расчетная модель, гильза, подача, напряжения.

Ю.В. Сергеев
МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА
УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОМАШИН И ЕЕ
АПРОБАЦИЯ

В работе рассмотрен вопрос разработки методики определения коэффициента ускорения ресурсных испытаний аксиально-поршневых гидромашин. Предложенная методика учитывает параметры физико-механических характеристик материалов и

presented. It is based on the calculation of electrical field by contact of metal and aggressive water-solution. Calculation is based on the solution of stationary boundary problem with mixed condition in boundary. The results of calculation for steel in sea water are presented.

Keywords: cathodic protection, electrical field, calculation

V.V. Mihajlov, S.I. Roshchina, P.B. Shokhin
EXPERIMENTAL DETERMINATION
OF CREEP UP WOOD

The results of the pilot to determine the measure of creep data on long-term tests of reinforced and unreinforced samples.

Keywords: measure the creep-reinforced wood, long-term tests, bending, eccentric compression.

Е.А. Никитина
INDUCTION HEATING FERROMAGNETIC
CYLINDER BILLET THREE-PHASE MAGNETIC
FIELD PROCESSES INVESTIGATION

The work contains the results of a research of the induction heating of cylindrical billet in a three-phase magnetic field in front of the plastic deformation in order to determine the energy parameters of the heating process.

Keywords: induction heating, three-phase magnetic field, simulation, cylindrical billet.

Е.Ю. Раскатов
A THEORETICAL EFFORTS OF THE METAL
DISPLACEMENT IN THE DEFORMATION ZONE
DURING PILGER ROLLING THIN-WALLED TUBES
The mathematical model is described and the results of the displacement of the metal in an instantaneous deformation zone for pilger rolling tubes are mentioned.

Keywords: model-based analysis, cobbing, grooving, computational model, shell, batch, stress.

Y.V. Sergeev
CALCULATION TECHNIQUE OF ACCELERATION
FACTOR OF HYDRAULIC MACHINE TESTING
AND ITS APPROVAL

The work deals with the technique development for determining the acceleration factor of life test of an axial-piston hydraulic machine. The suggested technique takes into consideration the parameters of physical-mechanical material characteristics and microgeometry

микрogeометрию контактирующих поверхностей выделенных пар трения гидромашин. Представлены результаты апробации и экспериментальной проверки полученной расчетной зависимости.

Ключевые слова: ускоренные ресурсные испытания, коэффициент ускорения испытаний, аксиально-поршневая гидромашина.

Ю.В. Сластущенский
МОДЕЛЬ СЛУЧАЙНОГО БЛУЖДЕНИЯ ДЛЯ
УРАВНЕНИЯ АНОМАЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ

В статье рассматриваются вопросы применения аппарата дробно-дифференциальных уравнений для описания процессов аномальной диффузии. Предложена модель случайного блуждания для численного решения уравнений аномальной диффузии, содержащих дробные производные по времени и пространству.

Ключевые слова: дробно-дифференциальное исчисление; аномальная диффузия; дробная производная; формула Грюнвальда-Летникова; конечно-разностная схема; модель случайного блуждания; метод Монте-Карло

В.В. Смирнов
РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТА ЛАБОРАТОРНЫХ
РАБОТ ПО ОСНОВАМ АВТОМАТИКИ И
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATmega 16

Разработанный стенд предназначен для реализации практикума по курсу «Основы автоматики и вычислительной техники» или другим аналогичным, изучаемым в университетах на различных специальностях. Он включает в себя девять лабораторных работ по изучению комбинационных схем различной сложности: от триггера до арифметико-логического устройства. При проектировании стенда были разработаны функциональные схемы каждой из реализуемых работ и вычислено максимальное количество разрядов портов микроконтроллера, необходимых для построения каждой из них. Максимальное количество разрядов не превышает пятнадцати. Поэтому было решено использовать матричную клавиатуру 4x4 разряда, которая занимает 8 разрядов одного порта. Ввод двоичного кода, используемый для переключения между работами, также занимает 8 разрядов порта. Для вывода сигналов на индикацию используются три разряда порта, которые управляют шестнадцатиразрядным совмещенным регистром dm135. Еще 5 разрядов используются для генерации импульсов и 2 разряда для реализации аналого-цифрового преобразователя. Таким образом, для реализации поставленной задачи необходимо не менее 4 восьмибитных портов. Микроконтроллер ATmega 16 удовлетворяет названным требованиям. На его базе построены 7 работ стенда, остальные две выполнены на аналоговых дискретных элементах. Для каждой из семи работ составлен отдельный программный

of contacting surfaces of friction pair. The approval results are given. The calculated dependence is also experimentally checked.

Keywords: accelerated life test, test acceleration factor, axial-piston hydraulic machine.

Y.V. Slastushenskiy
RANDOM WALK MODEL FOR ANOMALOUS
DIFFUSION EQUATION

Some problems of applying fractional calculus in models of anomalous diffusion are considered. A random walk model for the anomalous diffusion equation with fractional derivatives in time and space is proposed.

Key words: fractional calculus; anomalous diffusion; fractional derivative; Grünwald-Letnikov formula; finite-difference scheme; random walk model; Monte-Carlo method

V.V. Smirnov
THE IMPLEMENTATION OF A SET OF
LABORATORY WORK ON THE FUNDAMENTALS
OF AUTOMATION AND COMPUTER
TECHNOLOGY BASED ON MICROCONTROLLER
ATMEGA 16

Designed stand is designed to implement a workshop on the course Fundamentals of Automation and Computer Engineering, or other similar, studied at universities in various specialties. It includes nine laboratory studies of the combination systems of varying complexity, from a trigger to an arithmetic logic unit. In the design of the stand have been designed functional circuits of each of the implemented works and calculated the maximum number of bits of the microcontroller ports required to build each of them. The maximum number of digits does not exceed fifteen. It was therefore decided to use a keyboard matrix 4x4 discharge, which takes 8 bits per port. Enter the binary code used to switch between jobs, as is 8 bits ports. To output signals to the display are three discharge ports, which are controlled shift register hexadecimal dm135. 5 more bits are used for pulse generation and 2 digits for the implementation of an analog-digital converter. Thus, to accomplish the task requires a minimum of four eight-bit ports. Microcontroller ATmega 16 satisfies Name Requirement. At its base are constructed 7 works the booth, the other two carried on the analog discrete components. For each of seven separate papers compiled code. After checking each of the codes were combined into a single code. The program code is completely written in C (Standart 99). Compiling the Code was carried out in an environment Codevision AVR 2.05, and the environment AVR Studio 2 was used for debugging and testing it. The developed program for the microcontroller can emulate the

код. После проверки каждого из кодов, они были объединены в единый программный код. Код программы полностью написан на языке C (Standart 99). Компиляция кода осуществлялась в среде Codevision AVR 2.05, а среда AVR Studio 2 использовалась для его отладки и проверки. Разработанная программа для микроконтроллера позволяет эмулировать функции нескольких интегральных микросхем с возможностью выбора режимов работы каждой из них.

Ключевые слова: лабораторный практикум, триггер, аналого-цифровой преобразователь, арифметико-логическое устройство, комбинационные схемы, интегральная микросхема, микроконтроллер, программный код, среда программирования, эмуляция.

В. А. Столбова

МЕХАНИЗМ ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНА УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ
Актуальная на сегодняшний день проблема сохранения исторического наследия выявляет необходимость постановки и решения задачи выбора оптимального количества объектов, подлежащих реконструкции при ограниченных ресурсах.

Ключевые слова: городская пространственно-территориальная среда (ГПТС), мониторинг технического состояния, ограниченные ресурсы, программы мониторинга, рациональный набор объектов, ценность ГПТС, совокупная модель.

Л. Б. Строгонова, П. А. Фомкин
ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ В УСЛОВИЯХ ГЕРМЕТИЧНО ЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА

В статье приводятся технические и технологические возможности изучения микробиологических объектов в космическом пространстве. Дана общая математическая модель распознавания образов.

Ключевые слова: длительный космический полет, микробиологическая безопасность, распознавание образов

Д. Ю. Сясин

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе излагается подход к решению задачи идентификации надводных объектов в районе навигации судна с использованием нейронных сетей. Описывается методика проектирования и обучения нейронной сети.

Ключевые слова: нейронная сеть, идентификация надводных объектов, искусственный интеллект, классификация.

functions of several integrated circuits with a choice of operating modes each of them.

Keywords: laboratory training, the trigger, the analog-digital converter, an arithmetic logic unit, combinational circuits, ASIC, microcontroller, software code, programming environment, simulation

V. A. Stolbova

THE CITY SPATIALLY-TERRITORIAL ENVIRONMENT MECHANISM OF THE CHOICE OBJECTS AT MANAGEMENT PLAN FORMATION BY ITS TECHNICAL CONDITION

Problem of preservation a historical heritage reveals necessity of statement and the decision problem to choice an optimum quantity of the monuments which are subject to reconstruction at limited resources actual for today.

Keywords: the city spatially-territorial environment, monitoring of the technical condition, the limited resources, monitoring programs, rational set of objects, value CSTE, cumulative model.

L. B. Strogonova, P. A. Fomkin

TECHNICAL PROBLEMS OF MICROBIOLOGICAL PROTECTION OF A MANNED SPACE VEHICLE AND STATIONS

This article describes technical and technological possibilities of studying microbial objects in space stations. Common mathematical model for pattern recognition is shown.

Keywords: a long space flight, microbiological safety, pattern recognition

D. Y. Syasin

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR TASK SOLUTION OF ABOVE-WATER OBJECT IDENTIFICATION

The problems and approach for task solution of above-water object identification in the area of ship navigation using the neural networks is stated. The method of the designing and learning of neural network is described.

Keywords: neural network, identification of above-water objects, artificial intelligence, classification

Р.Г. Тер – Аракелян, Б.В. Чувькин
ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ
СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ

В статье рассмотрен новый подход для решения задачи оценки максимальной погрешности $\Sigma\Delta$ -модуляторов. Даны математические формулы для синтеза алгоритма цифровой фильтрации, реализующего заданную погрешность аналого-цифрового преобразования. Приведен пример расчета для $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка.

Ключевые слова: $\Sigma\Delta$ -модулятор, $\Sigma\Delta$ -АЦП, энтропийный подход, цифровой фильтр.

R.G. Ter – Arakelyan, B.V. Chuvykin
ESTIMATION OF THE MAXIMUM ERROR SIGMA-
DELTA OF MODULATORS WITH USE OF A
METHOD OF DECOMPOSITION

In article the new approach for the decision of a problem of an estimation of the maximum error of $\Sigma\Delta$ -modulators is considered. Mathematical formulas for the synthesis of algorithm of the digital filtration realizing the set error of analogue-digital transformation are given. The example of calculation for the $\Sigma\Delta$ -modulator of the third order is resulted.

Keywords: the $\Sigma\Delta$ -modulator, $\Sigma\Delta$ -ADC, the entropic approach, the digital filter.

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 обработке его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№5 2011

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.10.2011 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

12,9 усл.печ.л. 14,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 303.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 292-18-85

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»