

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№6 2018

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

Казань

2018

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №6 2018г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2018. – 174 с.

ISSN 2079-5920

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6

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

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.К. Половняк – д.х.н., проф.; П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.;
Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.*

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Р.Н. Костромин, П.К.У. Торрехон, Р.Р. Фазулзянов</i> ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ И УСТАНОВКИ, МОДЕЛИРУЮЩИЕ ВЫПАДЕНИЕ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ	7
<i>Р.Н. Костромин, П.К.У. Торрехон, Р.Р. Фазулзянов</i> ИСПЫТАНИЯ РЕАГЕНТОВ, СНИЖАЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЕ КОКСА В ПРОЦЕССАХ ВИСБРЕКИНГА	14
<i>Е.Ю. Микрюкова, Е.А. Алишева, С.Г. Мингазова, Т.Н. Шигабиев</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ	21
<i>Д.Р. Шангареев, Т.Н. Антонова, И.Г. Абрамов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ 5-ВИНИЛ-2-НОРБОРНЕНА В ПРИСУТСТВИИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО КАТАЛИЗАТОРА	24

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Д.Г. Алленов, В.В. Копылов, Т.М. Ба, А. Камара</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛИ	30
<i>А.В. Арефьев, М.С. Болховитин, Л.Н. Лесневский, В.А. Панов</i> АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШТАМПОВ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ	35
<i>А.Н. Афонин, А.В. Макаров, А.И. Ларин, Е.М. Мартынов</i> ГЕТЕРОГЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЗЬБ И ПРОФИЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ	41
<i>А.П. Буйносов, О.И. Ветлугина</i> ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКОСА КОЛЕСНЫХ ПАР НА СНИЖЕНИЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА В КРИВОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ	44
<i>В.Г. Жуков, Т.В. Рагимов</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ БУРОВЫХ УСТАНОВОК	48
<i>С.В. Зинченко, А.Ф. Тихонов</i> ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ДВУХСТАДИЙНЫМ ПРОЦЕССОМ ДРОБЛЕНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА	52
<i>А.А. Морозенко, Д.В. Красовский</i> ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ КЛЮЧЕВЫХ СОБЫТИЙ	57
<i>С.В. Прохоров</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	60
<i>Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов</i> РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОДВЕСЕ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВОЛНЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ СТАТОРА ДВИГАТЕЛЯ	63
<i>А.Б. Юн, С.В. Захарьян, О.М. Синянская, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛОТАЦИОННО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ	67

05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

<i>П.В. Волобуев, Е.Д. Усков, К.О. Хохлов, В.П. Новоселов, А.П. Волобуев, К.Н. Пестов, Е.В. Моисейкин</i> СТАЦИОНАРНОЕ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ	74
<i>Г.М. Мучкаева, Е.А. Будевич, А.С. Бирюков, М.Б. Нахаев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ КЛАПАННОЙ ГРУППЫ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ	79

<i>И.В. Нелин, Д.А. Охотников, В.В. Бухарева</i> РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ДАТЧИК НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВОДИТЕЛЕМ	82
<i>В.Х. Хуранов, А.С. Ципинов, Х.К. Сасиков, А.М. Курашев, Л.В. Шогенова</i> УЛУЧШЕННЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОДНОСЛОЙНОЙ СТЕНОВОЙ ПАНЕЛИ ИЗ ПЕПЛОТУФОБЕТОНА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КБР	85
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
<i>С.В. Бочкарев, А.Ю. Глухов, И.И. Аликина</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	88
<i>С.В. Бочкарев, Р.Р. Хисамов</i> ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ	91
<i>Е.В. Галкина</i> АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	95
<i>А.Ю. Глухов, С.В. Бочкарев</i> АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ	98
<i>С.В. Данилова, А.А. Проценко, Е.С. Кротова</i> ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА	102
<i>И.Я. Дятлов, В.В. Черняев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ САМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ГРЕЮЩЕГО КАБЕЛЯ	105
<i>А.Г. Ельфимова, Е.В. Игнатова</i> АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ В КАЧЕСТВЕ ИННОВАЦИИ	109
<i>В.К. Ионычев, А.А. Шестеркина</i> ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ОБЛАСТИ ИОНИЗАЦИИ В АРСЕНИДГАЛЛИЕВЫХ РЕЗКИХ Р – N-ПЕРЕХОДАХ	113
<i>А.О. Казакова</i> ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ МОДЕЛИ МИКСЕРА В РАМКАХ ПРИБЛИЖЕНИЯ СТОКСА	117
<i>Г.Е. Кокиева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБОРУДОВАНИИ ПО МОДУЛЮ «ФИКСИРОВАННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ»	121
<i>Г.Е. Кокиева, И.Б. Елтунова, В.В. Рабданова</i> ПРОВЕДЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПУТЁМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ	124
<i>С.В. Латухов, Н.В. Першин</i> РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА	127
<i>Д.А. Лобанов, Е.В. Бражникова, А.М. Романов, Л.В. Казанцева</i> ПРОГРАММНАЯ ЭМУЛЯЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR	132
<i>Т.Ф. Мамедова, Д.К. Егорова, Н.В. Василькин</i> МЕТОД ПОКОМПОНЕНТНОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	137
<i>Е.Н. Минаев, Д.В. Цытин, Д.С. Хорищенко</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ СЛОИСТОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	141
<i>М.В. Овечкин</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТОЧЕЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	145
<i>П.Г. Погорелов</i> МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ ДОКУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА	148
<i>А.В. Пухкой, Е.Ю. Кирейчева, Т.Ф. Мамедова</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ	152
<i>Э.Д. Сурсяков, Д.Е. Злобин, А.В. Ромодин</i> МОДУЛЬ РАСЧЕТА УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ТРЕНАЖЕРА	155
<i>А.П. Сябрено, В.С. Тынченко, О.А. Бочарова, Т.Г. Орешенко</i> АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АТТЕСТАЦИИ СОТРУДНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ КОХОНЕНА	159
АННОТАЦИИ	163

THE RELEASE MAINTENANCE

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

<i>R.N. Kostromin, P.K.U. Torrehon, R.R. Fazulzyanov</i> LABORATORY METHODS AND INSTALLATIONS SIMULATING LEAKAGE OF SOLID DEPOSITS FROM OIL AND PETROLEUM PRODUCTS	7
<i>R.N. Kostromin, P.K.U. Torrehon, R.R. Fazulzyanov</i> TESTING REAGENTS DECREASING COKE EFFECTS IN VISBREKING PROCESSES	14
<i>E.Y. Mikrukova, E.A. Alisheva, S.G. Mingazova, T.N. Shigabiev</i> APPLICAION OF MATHAMATICAL MODELING METHOD FOR THE RESEARCH OF THE CHEMICAL REACTION RATE	21
<i>D.R. Shangareyev, TN. Antonova, I.G. Abramov</i> INVESTIGATION OF THE KINETIC LAWS OF THE REACTION OF 5-VINYL-2-NORBORNENE HYDROGENATION IN THE PRESENCE OF A TONICODISPERSE CATALYST	24

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

<i>D.G. Allenov, V.V. Kopylov, T.M. Ba, A. Camara</i> INVESTIGATION OF THE IMPACT OF QUALITY OF SURFACE LAYER ON PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THE DETAIL	30
<i>A.V. Arefiev, M.S. Bolkhovitin, L.N. Lesnevsky, V.A. Panov</i> ANALYSIS OF DAMAGES AND IMPROVEMENT OF DIES AND TECHNOLOGY OF DIE FORGING OF GTE BLADES	35
<i>A.N. Afonin, A.V. Makarov, A.I. Larin, E.M. Martynov</i> HETEROGENEOUS HARDENING OF THREADS AND PROFILES BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION	41
<i>A.P. Buinosov, O.I. Vetlugina</i> THE EFFECT OF MISALIGNMENT OF WHEELSETS ON LOWERING THEIR LIFE-CYCLE WITH THE MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE IN THE CURVED AREA OF THE TRACK	44
<i>V.G. Zhukov, T.V. Ragimov</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE COMPRESSOR STATIONS HEAT EXCHANGER OF DRILLING RIGS	48
<i>S.V. Zinchenko, A.F. Tikhonov</i> PRINCIPLES OF ORGANIZATION OF MANAGEMENT OF A TECHNOLOGICAL TWO-STAGE PROCESS OF CRUSHING A CLOSED CYCLE	52
<i>A.A. Morozenko, D.V. Krasovskiy</i> LOGIC-MATHEMATICAL FUNCTION OF FORMING THE COMMUNICATIONS IN THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF THE PROJECT BASED ON THE MATRIX OF KEY EVENTS	57
<i>S.V. Prokhorov</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF USAGE OF AUTOMATED AND ROBOTIC SYSTEMS IN CONSTRUCTION	60
<i>N.G. Fetisova, A.P. Buinosov</i> REGULATION OF TRAIN SPEED ON ELECTRODYNAMIC SUSPENSION BY CHANGING THE FREQUENCY OF THE MAGNETIC INDUCTION WAVE OF THE MOTOR STATOR	63
<i>A.B. Yun, S.V. Zakharyan, O.M. Sinyanskaya, L.M. Karimova, I.V. Terentyeva</i> RESEARCH ON THE PROCESSING OF MIXED COPPER ORES WITH THE USE OF FLOTATION-HYDROMETALLURGICAL TECHNOLOGY	67

05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

<i>P.V. Volobuyev, E.D. Uskov, K.O. Khohlov, V.P. Novosiolov, A.P. Volobuyev, K.N. Pestov, E.V. Moiseikin</i> STATIONARY MAGNETO-THERAPEUTIC DEVICE FOR STRIGHT EFFECT	74
<i>G.M. Muchkaeva, E.A. Budevich, A.S. Biryukov, M.B. Nahaev</i> RESEARCH OF MEANS OF MEASUREMENT AND ELIMINATION OF DEFECTS OF VALVE GROUP DETAILS ARISING IN THE PROCESS OF ENGINE OPERATION	79

<i>I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov, V.V. Buhareva</i> RADIOLOCATION SENSOR FOR THE OBSERVATION FOR THE DRIVER	82
<i>V.Kh. Khuranov, A.S. Tsypinov, Kh.K. Sasikov, A.M. Kurashev, L.V. Shogenova</i> IMPROVED HEAT TECHNICAL INDICATORS A SINGLE-LAYER WALL PANEL FROM PEPLTOPHOBETONE OF CBD DEPOSITS	85

05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>S.V. Bochkarev, A.Yu. Glukhov, I.I. Alikina</i> METHOD FOR CALCULATING LOSSES LOW-POTENTIAL THERMAL ENERGY AT A PRODUCTION ENTERPRISE	88
<i>S.V. Bochkarev, R.R. Khisamov</i> THE PROBLEM OF ASSESSING THE RELIABILITY OF MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION DEVICES	91
<i>E.V. Galkina</i> ANALYSIS OF VERIFICATION TOOLS FOR DESIGN DOCUMENTATION	95
<i>A.Yu. Glukhov, S.V. Bochkarev</i> THE ARCHITECTURE OF THE MONITORING AND CONTROL SYSTEM OF LOW-POTENTIAL THERMAL ENERGY	98
<i>S.V. Danilova, A.A. Protsenko, E.S. Krotova</i> PRACTICAL ASPECTS OF INTRODUCTION OF TERRITORIAL-DISTRIBUTED DOCUMENT TURNOVER SYSTEM	102
<i>I.Y. Dyatlov, V.V. Chernyaev</i> THE STUDY OF THE HEATING VALUE OF A SELF-REGULATING HEATING CABLE	105
<i>A.G. Elfimova, E.V. Ignatova</i> ANALYSIS OF BUILDING INFORMATION MODELLING TECHNOLOGY AS AN INNOVATION	109
<i>V.K. Ionychev, A.A. Shesterkina</i> NUMERICAL CALCULATION FIELD IONIZATION IN ARSENIDGALLIEVYH SHARP P – N-JUNCTIONS	113
<i>A.O. Kazakova</i> NUMERICAL CALCULATION OF THE MODEL OF MIXER IN TERMS OF THE STOKES APPROXIMATION	117
<i>G.E. Kokieva</i> THE STUDY OF PHYSICAL PROCESSES IN EQUIPMENT MODULO «A FIXED NONLINEAR MODEL»	121
<i>G.E. Kokieva, I.B. Eltyanova, V.V. Rabdanova</i> THE MULTIFACTORIAL EXPERIMENT, BY MATHEMATICAL MODELING USING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES	124
<i>S.V. Latukhov, N.V. Pershin</i> RATIONAL CREATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS BY LIQUEFIED NATURAL GAS PRODUCTION	127
<i>D.A. Lobanov, E.V. Brazhnikova, A.M. Romanov, L.V. Kazanceva</i> SOFTWARE EMULATION OF THE ARCHITECTURE OF AVR MICROCONTROLLERS	132
<i>T.F. Mamedova, D.K. Egorova, N.V. Vasilkin</i> METHOD OF COMPOCIENT ASYMPTOTIC EQUIVALENCE IN THE PROBLEM OF THE ELECTRIC CHAIN STABILITY	137
<i>E.N. Minaev, D.V. Tsypin, D.S. Horishenko</i> MATHEMATICAL MODELING OF CONVECTIVE THERMAL CONDUCTIVITY IN THE CHANNELS OF HEAT-EXCHANGE EQUIPMEN WHEN THE FLOW OF FLUID IS LAYERED	141
<i>M.V. Ovechkin</i> AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL CONTROL OF POINT WELDED COMPOUNDS BASED ON ELECTROMAGNETIC RADIATION	145
<i>P.G. Pogorelov</i> A NEURAL NETWORK BASED APPROACH FOR THE EXTRACTION OF TEXTUAL DOCUMENT'S CONTENT	148
<i>A.V. Pukhkoy, E.Y. Kireicheva, T.F. Mamedova</i> MATHEMATICAL MODELING OF LOGISTICS CENTERS	152
<i>E.D. Sursyakov, D.E. Zlobin, A.V. Romodin</i> CALCULATION MODULE OF RELAY PROTECTION SETS IN THE UNITED TRAINER SYSTEM	155
<i>A.P. Syabrenko, V.S. Tynchenko, O.A. Bocharova, T.G. Oreshenko</i> ANALYSIS OF THE ENTERPRISES EMPLOYEES ATTESTATION RESULTS BASED ON THE KOHONEN MAPS	159

ABSTRACTS	163
------------------	-----

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.13

Р.Н. Костромин¹ канд. техн. наук, П.К.У. Торрехон¹, Р.Р. Фазулзянов²¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, kostromin-rn@rambler.ru, tejilah1@gmail.com²ООО "Химическая группа "Основа", лаборатория «Процессы»
Казань, ramzik@yandex.ru**ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ И УСТАНОВКИ, МОДЕЛИРУЮЩИЕ ВЫПАДЕНИЕ
ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-7-13**

Рассмотрены методы и лабораторные установки, предназначенные для оценки эффективности реагентов, предотвращающих выпадение твердых отложений нефти и нефтепродуктов в процессе переработки. Основной упор сделан на простые установки. На основе литературного анализа собрана лабораторная установка висбрекинга для оценки эффективности ингибиторов, пассиваторов и диспергаторов кокса.

Ключевые слова: отложения, нефть и нефтепродукты, лабораторная установка, висбрекинг, реагенты, кокс.

Введение

Согласно «Энергетической стратегии России до 2030 года» за счет увеличения доли вторичных процессов глубина переработки нефти должна достигнуть к концу 2020-2022 гг. - 83 %, а концу 2030 года – 89-90%, что потребует провести реконструкцию, модернизацию нефтеперерабатывающих заводов и внедрение современных технологий. Также, ориентируясь на удовлетворение потребностей внутреннего рынка, планируется оптимизировать объемы переработки нефти внутри страны и экспорта сырой нефти [1-5]. Так же предполагается нарастить мощности по получению низкомолекулярных олефинов т.е. пиролиза.

Основную долю мировых мощностей по облагораживанию остаточного сырья составляют процесс коксования – 30,73 %, висбрекинга – 25,85% и каталитический крекинг – 23,73 %. Из них процессу коксования отдается предпочтение в США, висбрекинга - в Европе и каталитическому крекингу - в остальных странах (в т.ч. России) [6].

Вышеперечисленные термические процессы отличаются по глубине превращения, назначению, целевым продуктам, а также по параметрам процесса (давлению, температуре и времени контакта). Однако у этих процессов есть общая проблема. Особенности нагреваемого сырья и высокая температура способствуют протеканию нежелательных реакций – поликонденсации и полимеризации с образованием пекоподобных продуктов уплотнения, плохо растворимых в продукте и приводящих к образованию кокса в печных змеевиках и пекоподобных отложений в кубах колонн и теплообменниках, обычно также называемых коксом, что оказывает отрицательное воздействие и снижает эксплуатационную надежность установок.

Выжигание кокса приводит к периодичности процесса, к смене восстановительной среды на окислительную. В связи с этим уделяется большое внимание проблеме подавления образования кокса.

Для борьбы с нежелательными реакциями в процессе висбрекинга ряд фирм предлагает ингибиторы коксообразования, коксоотложения и диспергаторы. Как правило, для защиты печи и колонны с теплообменниками рекомендуются различные присадки. Одни подаются на входе в печь, другие – в куб колонны и на входе в теплообменники. Практический промышленный опыт достаточно надежно свидетельствует о положительном эффекте

применения ингибиторов коксообразования. Объективное же сравнение эффективности ингибиторов различных фирм между собой достаточно затруднительно, так как его необходимо производить в сопоставимых условиях работы промышленных установок.

При строительстве новых и модернизации действующих установок в области нефтепереработки и нефтехимии в России преобладают зарубежные инженеринговые фирмы. Их выбирают в качестве генеральных подрядчиков и передают им функции по управлению проектами. В результате иностранцы выполняют основную долю работ по проектам, включая разработку предпроектной, рабочей документации, поставку оборудования и специальных реагентов. На долю отечественных компаний остается лишь выполнение разрешительной документации, а также участие в подготовке рабочей документации. В условиях осложнения внешнеполитической обстановки, угрозы экономических санкций со стороны США и Евросоюза проблема импортозамещения в нефтепереработке и нефтехимии становится важной государственной задачей [7].

В рамках данной ситуации возникает задача разработки отечественных реагентов для ингибирования коксообразования, коксоотложения и испытание их в лабораторных условиях.

Для реализации этой проблемы проведен литературный анализ по используемым для подобных целей лабораторным установкам. В данной статье рассмотрены методы и лабораторные установки, предназначенные для определения отложений, выделяющихся из нефти и нефтепродуктов в процессе их переработки.

Лабораторные установки

Один из аппаратов позволяющий количественно определять различные отложения, выпадающие из нефтяных фракций описан в патенте US 4383438 [8].

Аппарат состоит из емкости высокого давления 1 (рис. 1) снабженной внешней нагревательной рубашкой 2 и охлаждающим змеевиком 3. В нижней части емкости 1 установлен неподвижный измерительный зонд 4.

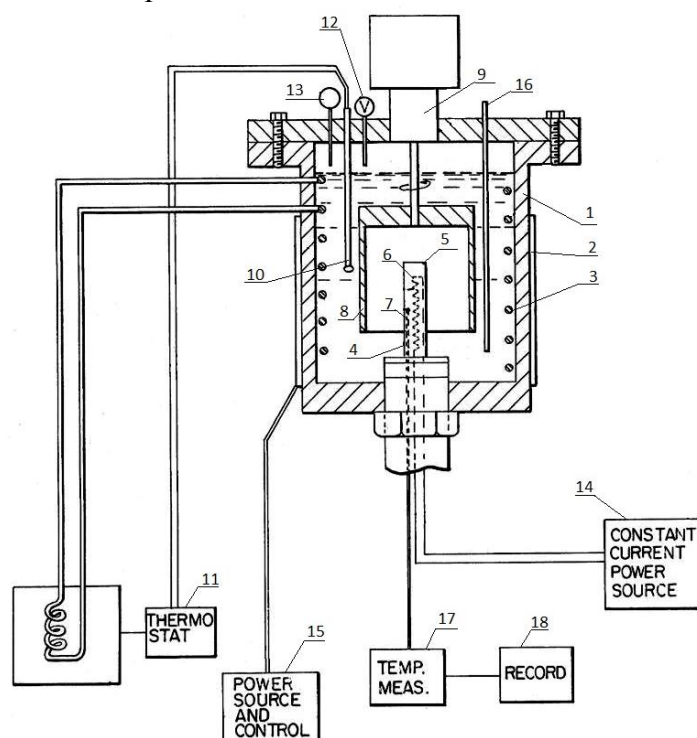


Рисунок 1. Лабораторная установка, описанная в патенте US4383438

- 1 – емкость, 2 – рубашка, охлаждающий змеевик, 4 – измерительный зонд,
5 – металлический корпус измерительного зонда, 6 – нагревательный элемент,
7 – термопара зонда, 8 – ротор, 9 – магнитная мешалка, 10 – термопара емкости,
11 – термостат, 12 – манометр, 13 – подпружиненный клапан, 14 – источник постоянного
тока, 15 – контроллер, 16 – барботажная трубка, 17, 18 – блоки фиксации и записи.

Зонд 4 состоит из металлического корпуса 5, с установленным внутри нагревательным элементом 6 и термопары 7, замеряющей температуру внутренней стенки корпуса 5. Нагревательный элемент 6 подключается к источнику постоянного тока 14. Сверху над зондом в емкость устанавливается ротор 8 в виде полого цилиндра, который приводится в движение с помощью магнитной мешалки 9.

Вторая термопара 10 установлена в емкость 1 между ротором 8 и стенкой. Регулировка температуры производится термостатом 11 с помощью контроллера 15. Емкость снабжена газовой барботажной трубкой 16, манометром 12 и подпружиненным клапаном 13 для сброса давления.

Фиксация и запись температуры осуществляется блоками 17 и 18.

Перед каждым запуском для удаления остатков продуктов от предыдущих запусков и коррозии рекомендуется чистить поверхность зонда 5 с помощью пескоструя. Зонд затем промывают метанолом, ксилолом или ацетоном. Нефтепродукт вводят в емкость 1, продувают азотом в течение 15 минут и герметично закрывают. Температура в емкости 1 поддерживается с помощью термостата 20 в пределах ± 2 °C. Когда температурный режим приближается к равновесию, подается питание к нагревательному элементу 6 зонда 5. Это приводит к разности температур между зондом 5 и нефтепродуктом, которая постоянно контролируется. При накоплении отложений (а все остальные факторы остаются постоянными) на зонде 5 происходит повышение его температуры, что и фиксирует термопара.

Время испытания зависит от скорости нарастания отложений и обычно варьируется от 2 до 48 часов. Большинство испытаний проводится в течение 18 часов. В конце опыта нефтепродукт удаляется, отложения удаляют с зонда и взвешивают. Характер выпадения отложений определяется наблюдением за изменением разности температур между зондом и нефтепродуктом со временем (кривая обрастания), а также измерением общего веса отложений, накопленных во время испытания.

Данный способ позволяет испытывать нефть, масла, отработанные нефтепродукты на интенсивность выпадения различных отложений в том числе асфальтосмолистопарафиновых.

В патенте US4910999 [9] описывается усовершенствованный аппарат (рис. 2) для аналогичных испытаний. Его же предлагается использовать и для исследования коксообразования и коксоотложения [10].

Основное отличие этого аппарата в наличии нескольких измерительных зондов, что позволяет повысить точность результатов и уменьшить количество испытаний.

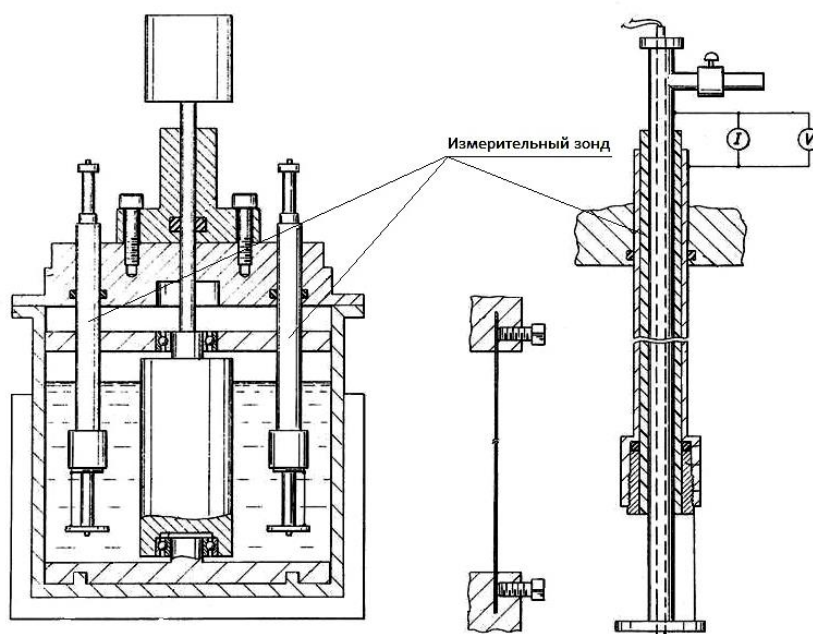


Рисунок 2. Лабораторная установка, описанная в патенте US4910999

Так же изменена методика испытания:

- 1) каждый зонд перед испытанием калибруется;
- 2) замеряется электрическая мощность, подводимая к нагревательному элементу зонда для выравнивания температуры;
- 3) предложен простой математический аппарат для интерпретации результатов.

Для высокотемпературных процессов предлагается использовать тот же принцип испытаний. В патенте US 6062069 [11] описан прибор, в котором видоизменен измерительный зонд.

Зонд выполнен в виде винтового рабочего колеса которое помещено в расходомерную трубку, что позволяет организовывать циркуляцию исследуемой жидкости не только внутри прибора, но и вокруг зонда (рис. 3).

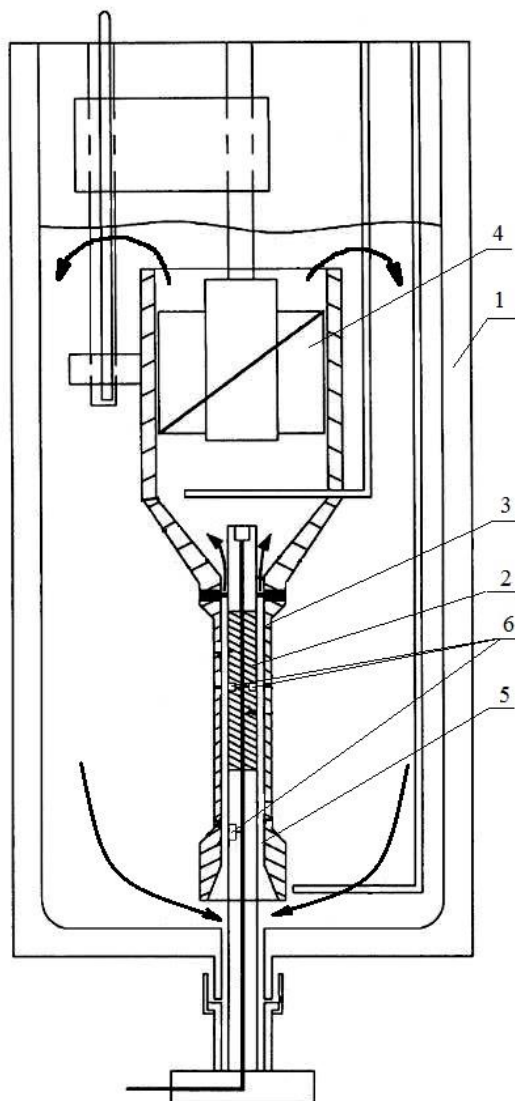


Рисунок 3. Лабораторная установка, описанная в патенте US4910999

1 – емкость, 2 – измерительный зонд, 3 – расходомерная трубка, 4 винтовое колесо, 5- кольцевой канал, 6 – термопары. Стрелками указана схема движения жидкости в аппарате.

Наилучших результатов можно добиться, используя лабораторные установки с максимально приближенными к промышленным условиям [12-13], например, установка пиролиза (рис. 4).

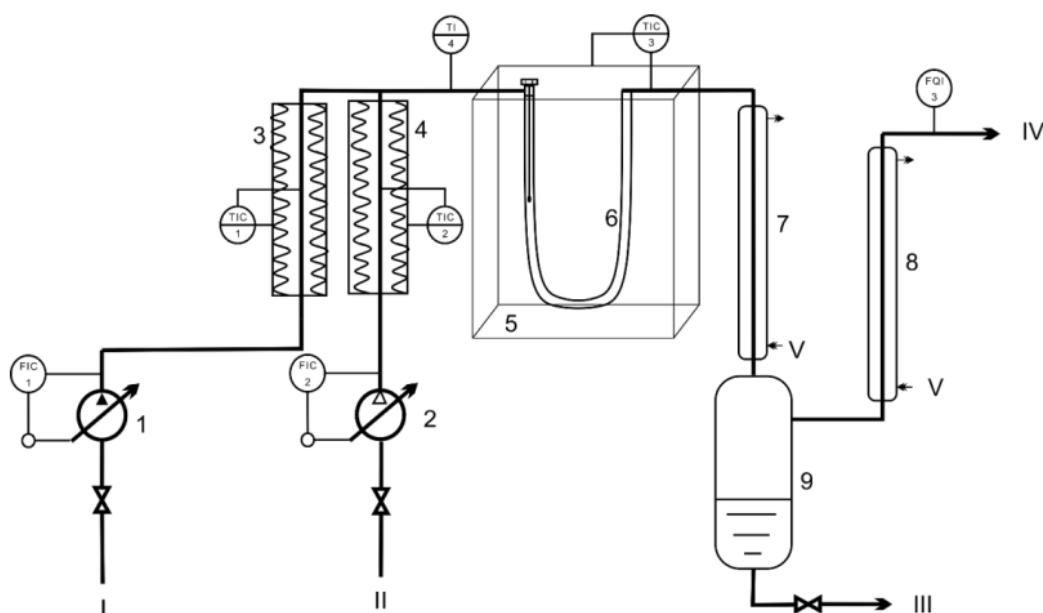


Рисунок 4. Лабораторная установка термического пиролиза

1,2 – насосы; 3 – компрессор газообразного сырья; подогреватель УВС; 5 – печь; 6 – змеевик; 7, 8 – холодильник; 9 – емкость. Линии: I – вода; II – жидкое сырье; III – смола; IV – пирогаз; V – охлаждающая вода.

Исследование процесса термического пиролиза проводится на проточной лабораторной установке. Основным аппаратом является стальной реактор U-образной формы диаметром 10 мм и длиной 250 мм. Через штуцер в верхней части в среднюю часть реактора подвешивается металлическое кольцо для определения интенсивности коксообразования. Реактор помещается в электропечь (рис. 4). Температура в реакционной зоне поддерживается постоянной на уровне 820 ± 1 °C, регулировка производится с помощью контроллера и термопары.

Ввод сырья и воды осуществляется с помощью насосов-дозаторов. Вода и сырье проходят через испарители, где поддерживается определённая температура для сырья – 300–320 °C и для воды – 500–520 °C. После испарения водяной пар и сырье поступают в верхнюю часть реактора и, далее, в реакционную зону. Данная установка близко моделирует процесс пиролиза, а анализ количества выделившегося кокса позволяет судить об эффективности реагентов.

В соответствии с проведенным анализом и исходя из материальной базы на кафедре ХТПНГ КНИТУ для испытаний ингибиторов коксообразования предназначенных для термических процессов предлагается использовать модернизированную лабораторную установку (рис. 5).

Описание установки.

Сырье из емкости с рубашкой 1 при помощи насоса 5 подается по сырьевой трубке через узел подачи сырья 7 (УПС) в реакционную трубку 9, помещенную в электрическую нагревательную печь 8.

Контур подачи сырья имеет циркуляционный подогрев (термостат 2) сырьевой емкости 1, насоса 5 и сырьевой трубки.

Сигнал с датчика измерения температуры 6 (термопара) выведен на ПИД-регулятор 3. Регулирование и регистрирование температурного режима осуществляется со щита управления ПИД-регулятора 3.

Пары продуктов превращения сырья проходят через отвод 10 в холодильник 11, где частично конденсируются, и через аллонж 12 поступают в приемную колбу 16, где происходит разделение на жидкую и газообразную части. Для хорошего прохождения продуктов висбрекинга через холодильник (за счет уменьшения вязкости), последний обогревается термостатом 17. Дальнейшая конденсация осуществляется в обратном холодильнике 13. Несконденсировавшаяся часть поступает в абсорбер 14, который служит

для улавливания капель жидкого продукта, увлеченных газообразным потоком. В качестве абсорбера используется дрексельная склянка, абсорбентом служит соляровое масло, налитое на высоту не более 4 см.

При проведении опыта выделяется определенное количество газообразных продуктов, а по окончании на стенках реакционной трубки остается кокс. При применении соответствующих реагентов количество кокса и газа будет уменьшаться, что позволит судить об их эффективности.

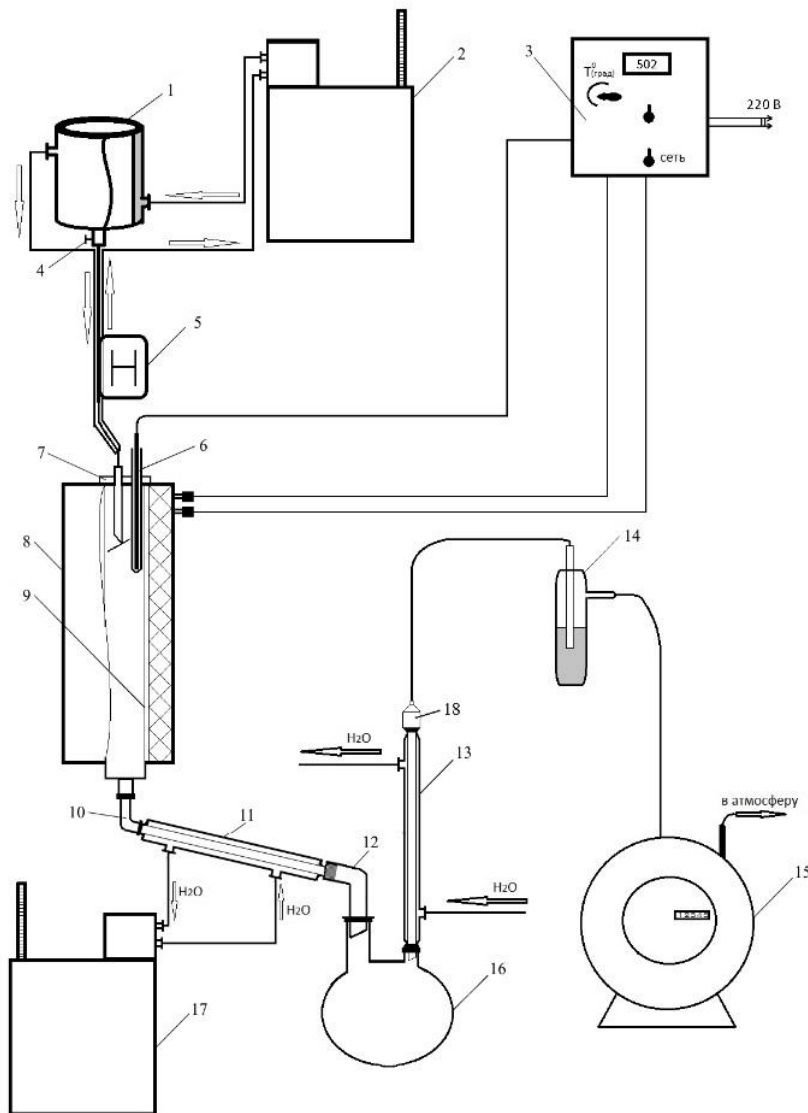


Рисунок 5. Схема лабораторной установки висбрекинга

- 1 – сырьевая емкость с рубашкой; 2 – термостат; 3 – ПИД-регулятор; 4 – запорный кран;
5 – насос; 6 – термопара; 7 – узел подачи сырья; 8 – электропечь; 9 – реакционная трубка;
10 – отвод; 11 – продуктовый холодильник; 12 – аллонж; 13- обратный холодильник;
14 – абсорбер; 15 – газовые часы; 16 приемная колба; 17 – термостат; 18 – переходник.

Заключение

Как показал анализ простых лабораторных установок предназначенных для испытаний подобных реагентов немного. По проведенному анализу и исходя из материальной базы кафедры ХТПНГ собрана лабораторная установка висбрекинга. Основными фиксируемыми параметрами на этой установке являются: газообразование и количество получаемого кокса. При применении соответствующих реагентов количество кокса и газа будет уменьшаться, что позволит судить об их эффективности, т.е. данная установка позволит провести испытания ингибиторов, пассиваторов и диспергаторов кокса от разных производителей.

Список литературы

- 1 Курочкин, А.К. Углубление переработки нефти доступными процессами / А.К. Курочкин // Топливный рынок.- 2010.- №05-06.- С.22-25.
- 2 Курочкин, А.К. Глубина переработки нефти в России пропорциональна глубине модернизации отечественных НПЗ / А.К. Курочкин // Экологический вестник России.- 2011.- №3.- С.4-13.
- 3 Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года».
- 4 Солодова, Н.Л. Тенденции развития нефтепереработки в России / Черкасова Е.И. // Вестник КТУ, Казань. – 2016,. Т. 19. № 21. С. 57-63.
- 5 Ульрих, И.В. Особенности инновационного процесса в нефтеперерабатывающей отрасли Российской Федерации / И.В. Ульрих // Транспортное дело России.- 2012.- №4(101).- С.97-100.
- 6 Низамова, Г.И. Закономерности кинетики жидкофазного термоллиза гудронов и совершенствование технологии процесса висбрекинга / диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Уфа-2016.
- 7 Материалы к VII заседанию Консультативного совета. Тема заседания: «Импортозамещение в нефтепереработке». – 2014. [Электронный ресурс] URL: <http://www.oil-gas.ru/news/id1504>
- 8 US4383438A Fouling test apparatus
- 9 US4910999A Method and apparatus for conducting fouling tests
- 10 P. Eaton, J. Williams, Delayed Coker Furnace Fouling Control - Laboratory Correlation to Field Experience / NACE International – Corrosion Conference & Expo 2008, Volume 9, Paper № 08670
- 11 US6062069 High temperature fouling test unit
- 12 Павлова, И.В. Ингибирование коксообразования в трубах пиролизных печей / В.К. Половняк, А.Ф. Хабибрахманов, А.К. Старков, М.Е. Чуклова // Вестник КТУ, Казань. – 2009, № 1, с. 73-78.
- 13 Павлова, И.В. Процессы коксообразования на поверхности некоторых материалов / И.В. Павлова, А.Ф. Хабибрахманов, В.К. Половняк // Вестник КТУ, Казань. – 2008, №3, С.19-22.

02.00.13

Р.Н. Костромин¹ канд. техн. наук, П.К.У. Торрехон¹, Р.Р. Фазулзянов²¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, kostromin-rn@rambler.ru, tejilah1@gmail.com²ООО "Химическая группа "Основа", лаборатория «Процессы»
Казань, ramzik@yandex.ru**ИСПЫТАНИЯ РЕАГЕНТОВ, СНИЖАЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЕ КОКСА В
ПРОЦЕССАХ ВИСБРЕКИНГА****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-14-20**

Ключевые слова: висбрекинг, лабораторная установка, гудрон, ингибиторы, диспергаторы, пассиваторы, кокс

Предложена лабораторная установка для тестирования реагентов уменьшающий образование кокса в термических деструктивных процессах. Проведена оценка ингибиторов, пассиваторов и диспергаторов кокса разных производителей для процессов висбрекинга. Показана возможность использования фотометрической методики для оценки эффективности этих реагентов.

Введение

На сегодняшний день основной задачей нефтеперерабатывающей отрасли нашей страны является решение проблемы увеличения глубины переработки нефти, которое зависит в первую очередь от эффективности процессов вторичной переработки.

К 2020 году уменьшится объем производства «темных» нефтепродуктов, в том числе в 2,8 раза производство топочного мазута, за счет увеличения глубины переработки нефти до 85 % [1].

При этом неуклонно растет удельный вес месторождений высоковязких и трудноизвлекаемых нефтей в структуре нефтяных запасов Российской Федерации, ожидается, что мировая добыча и переработка сверхвязких и битуминозных нефтей в ближайшее десятилетие станет преобладающей [2-4].

В этой связи особый интерес представляет процесс висбрекинга, основным назначением которого является снижение вязкости тяжелых нефтей и тяжелых нефтяных остатков. Гибкость и достаточно мягкие условия висбрекинга, по сравнению с термическим крекингом, позволяют перерабатывать более тяжелое, но при этом легче крекируемое сырье. Тем более, что доля этого процесса в ближайшее время в российской нефтепереработке увеличится.

Особенности нагреваемого сырья и высокая температура способствуют протеканию нежелательных реакций – поликонденсации и полимеризации с образованием кокса в печных змеевиках и пекоподобных отложениях в кубах колонн и теплообменниках, что оказывает отрицательное воздействие и снижает эксплуатационную надежность установок. Для борьбы с нежелательными реакциями в процессе висбрекинга ряд зарубежных фирм предлагает ингибиторы коксообразования, коксоотложения и диспергаторы.

Объективное же сравнение эффективности ингибиторов различных фирм между собой достаточно затруднительно, так как его необходимо производить в сопоставимых условиях работы промышленных установок.

В рамках данной ситуации возникает задача разработки отечественных реагентов для ингибирования коксообразования, коксоотложения и испытание их в лабораторных условиях. Что в рамках проблемы импортозамещения в нефтепереработке и нефтехимии становится важной задачей [7].

Экспериментальная часть

Для реализации этой задачи проведен литературный анализ по используемым для подобных целей лабораторным установкам [8-13]. В соответствии с проведенным анализом и исходя из материальной базы на кафедре ХТПНГ КНИТУ для испытаний ингибиторов

коксообразования предназначенных для термических процессов предлагается использовать модернизированную лабораторную установку (рис. 1). В качестве объектов исследования выбраны реагенты, используемые на большинстве промышленных установок висбрекинга производства фирмы Chimes и отечественные реагенты производства ГК Миррико.

Описание установки

Сырье из емкости с рубашкой 1 при помощи насоса 5 подается по сырьевой трубке через узел подачи сырья 7 (УПС) в реакционную трубку 9, помещенную в электрическую нагревательную печь 8.

Контур подачи сырья имеет циркуляционный подогрев (термостат 2) сырьевой емкости 1, насоса 5 и сырьевой трубки.

Сигнал с датчика измерения температуры 6 (термопара) выведен на ПИД-регулятор 3. Регулирование и регистрирование температурного режима осуществляется со щита управления ПИД-регулятора 3.

Пары продуктов превращения сырья проходят через отвод 10 в холодильник 11, где частично конденсируются, и через аллонж 12 поступают в приемную колбу 16, где происходит разделение на жидкую и газообразную части. Для хорошего прохождения продуктов висбрекинга через холодильник (за счет уменьшения вязкости), последний обогревается термостатом 17. Дальнейшая конденсация осуществляется в обратном холодильнике 13. Несконденсировавшаяся часть поступает в абсорбер 14, который служит для улавливания капель жидкого продукта, увлеченных газообразным потоком. В качестве абсорбера используется дрексельная склянка, абсорбентом служит соляровое масло, налитое на высоту не более 4 см.

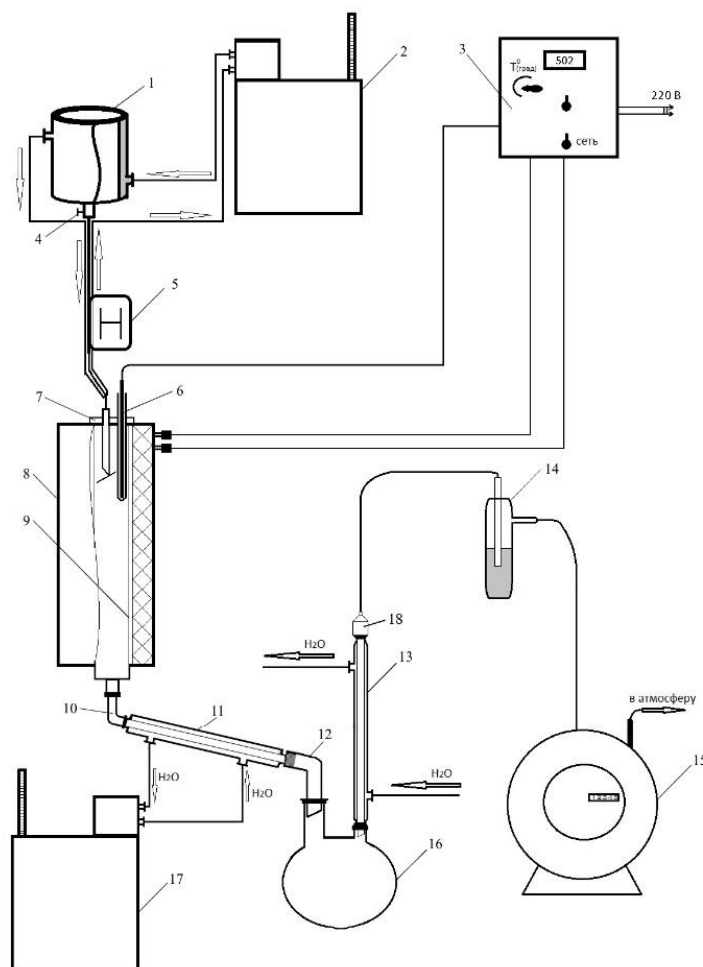


Рисунок 1. Схема лабораторной установки висбрекинга

- 1 – сырьевая емкость с рубашкой; 2 – термостат; 3 – ПИД-регулятор; 4 – запорный кран;
5 – насос; 6 – термопара; 7 – узел подачи сырья; 8 – электропечь; 9 – реакционная трубка;
10 – отвод; 11 – продуктовый холодильник; 12 – аллонж; 13 – обратный холодильник;
14 – абсорбер; 15 – газовые часы; 16 – приемная колба; 17 – термостат; 18 – переходник.

На рисунке 2 представлен температурный профиль процесса висбрекинга. По резким изменениям температуры можно определить начало и окончание поступления сырья в реакционную трубку. На основании чего можно фиксировать скорость подачи сырья, и поддерживать ее постоянной, т.к. значительное ее изменение будет влиять на результаты эксперимента.



Рисунок 2. Температурный профиль и скорость газообразования процесса висбрекинга.

При проведении опыта выделяется определенное количество газообразных продуктов, а по окончании на стенках реакционной трубки остается кокс. При применении соответствующих реагентов количество кокса и газа будет уменьшаться, что позволит судить об их эффективности.

Результаты

Сырьем процесса висбрекинга служили гудроны с установок ОАО «ТАНЕКО»; ОАО «ТАИФ-НК»; ООО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка». Групповой состав этих гудронов определенный с помощью метода адсорбционно-жидкостной хроматографии представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Групповой состав используемых гудронов

Гудрон	Содержание компонентов битума, %			
	Асфальтены, %	Мальтены, %		
		Масла	Смолы бензольные	Смолы спирто-бензольные
ТАИФ-НК	9,3	44,8	33,7	12,2
ТАНЕКО	9,7	47,3	27,8	15,2
Ухтанефтепереработка	6,9	52,2	28,3	12,6

Испытания ингибиторов Chimes 3370 и Dewaxol 1001 на гудроне ОАО «ТАНЕКО»

В таблице 2 представлены сводные результаты опытов с ингибиторами Dewaxol 1001 и Chimes 3370.

Таблица 2 – Результаты опытов с ингибиторами при различных концентрациях

Концентрация Dewaxol 1001, ppm	0	50	100	200	400
Кокс, % масс	12,00	7,03	3,75	3,62	2,22
Газ, % масс	6,46	4,35	3,20	2,96	2,21
Средняя температура процесса, °C	495	497	498	500	500
Концентрация Chimes 3370, ppm	0	50	100	200	400
Кокс, % масс	12.00	11.68	7.68	6.17	3.86
Газ, % масс	6.46	5.56	4.50	3.76	3.20
Средняя температура процесса, °C	495	495	498	499	499

Как видно во всех опытах при уменьшении коксообразования происходит уменьшение и газообразования, что является дополнительным параметром, позволяющим оценивать эффективность ингибитора.

Средняя фактическая температура процесса (которую поддерживает ПИД-регулятор) является важным параметром процесса. Небольшое увеличение средней температуры процесса при увеличении концентрации ингибитора говорит об уменьшении эндотермических реакций. Тем более что на холостом ходу ПИД-регулятор поддерживает температуру в колонке близкую к заданной – 512-513 °С. Этот эффект чуть сильнее выражен при использовании ингибитора Dewaxol 1001.

Следует отметить, что средняя дозировка реагентов типа Chimes 3370 на промышленных установках ~ 20 ppm. Однако заметный эффект от этого ингибитора на лабораторной установке проявляется только при концентрациях выше 50 ppm. Это объясняется весьма жесткими условиями процесса висбрекинга на лабораторной установке. Подача сырья 10 гр/мин и максимальная температура около 500 °С приводит к бурному протеканию процессов газо- и коксообразования. Поэтому эффект ингибирования и смещается в сторону высоких концентраций.

Снижение же жесткости процесса приводит к резкому уменьшению газо- и коксообразования, что ухудшает воспроизводимость эксперимента и затрудняет интерпретацию результатов.

Однако данный фактор позволяет сравнить эффективность ингибиторов, т.к. снижение коксообразования при использовании ингибитора Dewaxol 1001 заметно уже при 50 ppm.

По результатам испытаний ингибитор Dewaxol 1001 обладает примерно в два раза большей эффективностью чем ингибитор Chimes 3370.

Испытания ингибиторов Dewaxol 1001Y и Chimes 3835 на гудроне ООО "ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка"

В таблице 3 представлены сводные результаты опытов с ингибиторами Dewaxol 1001Y и Chimes 3835.

Таблица 3 – Результаты опытов с ингибиторами при различных концентрациях

Концентрация Dewaxol 1001Y, ppm	0	20	27	38	50
Кокс, % масс	5.58	3.85	3.84	3.41	2.74
Газ, % масс	4.29	2.56	2.46	2.18	1.45
Средняя температура процесса, °С	498	496	496	498	499
Концентрация Chimes 3835, ppm	0	22	26	43	60
Кокс, % масс	5.58	3.86	3.45	3.42	2.39
Газ, % масс	4.29	2.22	2.00	1.99	0.60
Средняя температура процесса, °С	498	497	498	497	499

Следует отметить, что эти ингибиторы на гудроне Ухтанефтепереработка имеют заметную эффективность уже при концентрациях близких к промышленным. Ингибитор Chimes 3835 при концентрациях 20-30 ppm дает снижение выхода кокса на 35-40%. Что связано, судя по всему с составом гудрона. Гудрон ООО "ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка" менее вязкий, для обеспечения его текучего состояния требуется температура ниже, чем для гудрона ОАО «ТАНЕКО» (92 и 110 °С соответственно). На холостом опыте (без реагентов) количество выделившегося кокса меньше (5,58 и 12,00 грамм соответственно).

Как видно по результатам испытаний ингибиторы Chimes 3835 и Dewaxol 1001Y имеют сопоставимую эффективность.

Испытания диспергаторов Dewaxol 1002 и Chimes 3835S на гудроне ОАО «ТАНЕКО»

В таблице 4 представлены сводные результаты опытов с диспергаторами Dewaxol 1002 и Chimes 3835S.

Таблица 4 – Результаты опытов с диспергаторами при различных концентрациях

Концентрация Dewaxol 1002, ppm	0	20	27	38	50
Кокс, % масс	12.00	4.42	4.12	3.82	4.26
Газ, % масс	6.46	3.55	3.46	3.36	3.01
Средняя температура процесса, °C	498	496	496	498	499
Концентрация Chimes 3835S, ppm	0	22	26	43	60
Кокс, % масс	12.00	5.07	4.35	4.30	4.06
Газ, % масс	6.46	3.38	2.92	2.89	2.65
Средняя температура процесса, °C	498	497	498	497	499

Как видно по результатам испытаний диспергаторы Chimes 3835S и Dewaxol 1002 так же имеют сопоставимую эффективность.

Испытания пассиваторов Chimes 3235P и Dewaxol 1003 на гудроне ОАО «ТАИФ-НК»

В таблице 5 представлены сводные результаты опытов с диспергаторами Dewaxol 1003 и Chimes 3235P.

Таблица 5 – Результаты опытов с диспергаторами при различных концентрациях

Концентрация Dewaxol 1003, ppm	0	25	50	75	100
Кокс, % масс	12.87	9.01	5.13	5.30	4.11
Газ, % масс	4.85	4.12	3.12	2.98	2.45
Средняя температура процесса, °C	497	497	497	498	498
Концентрация Chimes 3235P, ppm	0	25	50	75	100
Кокс, % масс	12.87	8.75	4.81	6.72	10.18
Газ, % масс	4.85	3.89	2.89	3.98	5.14
Средняя температура процесса, °C	497	497	497	497	498

Вероятно, пассиватор Chimes 3235P имеет сложный состав, так как при повышении концентрации более 50 ppm происходит увеличение коксо- и газообразования. Возможно, в его состав включен активный компонент на основе полимера, который из-за малой термической устойчивости полимера при повышении концентрации образует большое количество углеводородных радикалов, инициирующих реакцию термической деструкции.

Однако при низких концентрациях до 50 ppm пассиватор Chimes 3235P имеет сопоставимую эффективность с пассиватором Dewaxol 1003.

Фотометрические исследования продуктов висбрекинга

Для дополнительного подтверждения эффективности реагентов использовали фотометрическую методику определения количества и размеров частиц кокса. На рисунке 3 представлены фотографии частиц кокса при увеличении в 500 раз. В таблице 6 зависимости количества частиц в продукте висбрекинга от концентрации реагентов.

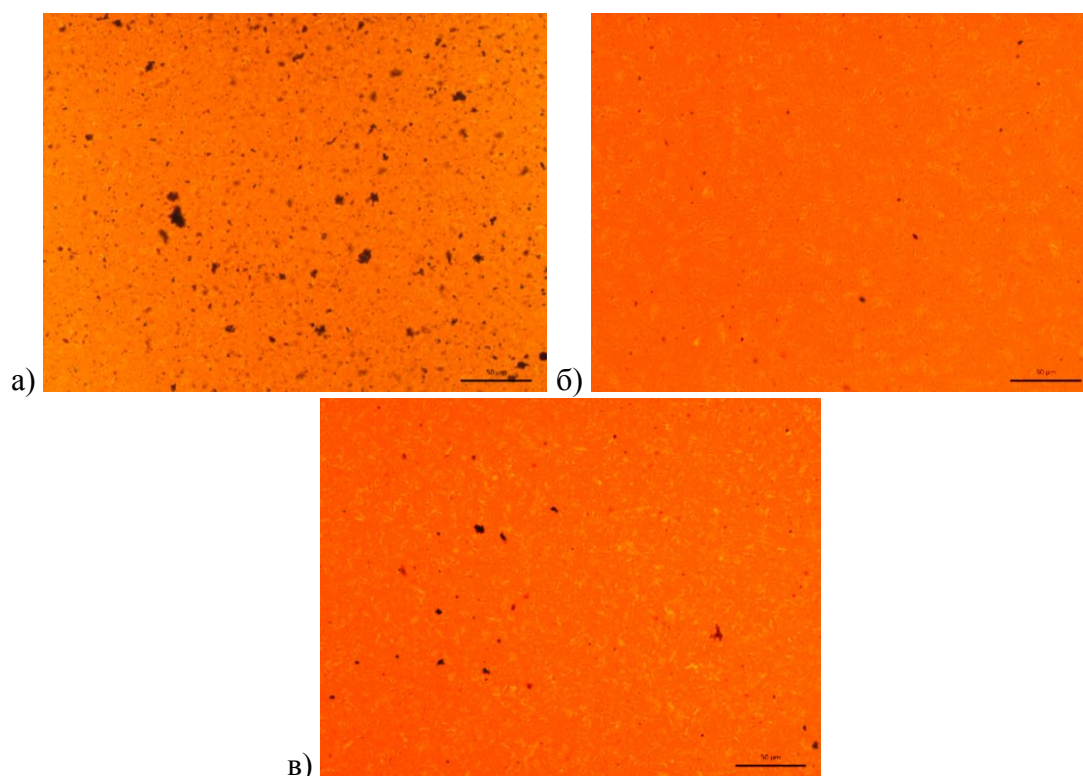


Рисунок 3. Фотографии продуктов висбрекинга на гудроне ОАО «ТАНЕКО» (x500).
 а) холостой опыт; б) с ингибитором Dewaxol 1001 – 100 ppm;
 в) с ингибитором Chimes 3370 – 100 ppm

Таблица 6 – Количество частиц кокса образующихся в процессе висбрекинга

Гудрон	Реагент	Концентрация, ppm	Количество частиц, шт/мм ²	Гудрон	Реагент	Концентрация, ppm	Количество частиц, шт/мм ²
ТАНЕКО	-	0	7528	Ухтанефтепереработка	-	0	4752
	Dewaxol 1001	50	3520		Dewaxol 1001Y	20	2852
		100	648			27	2756
		200	624			38	2231
		400	594			50	2015
	Chimes 3370	50	6574		Chimes 3835	22	2687
		100	2163			26	2640
		200	852			43	2160
		400	601			60	1985
	Dewaxol 1002	25	1753	ТАИФ-НК	-	0	8523
		35	1741		Dewaxol 1003	25	5263
		50	1528			50	3562
		75	1672			75	3214
	Chimes 3835S	15	2635			100	2985
		25	2103		Chimes 3235P	25	6821
		35	2015			50	3863
		50	1985			75	4236
						100	6241

Как видно выход кокса, образующегося в трубке и количество частиц в продуктах висбрекинга от концентрации реагентов, коррелируют между собой. При увеличении количества реагентов количество частиц уменьшается (исключение составляет Chimes 3235P). Т.е. данную методику можно использовать для определения эффективности реагентов, причем не только в лабораторных испытаниях, но и вероятно при проведении опытно-промышленных испытаний.

Заключение

По проведенному анализу и исходя из материальной базы кафедры ХТПНГ собрана лабораторная установка висбрекинга.

Основными фиксируемыми параметрами на этой установке являются: газообразование и количество получаемого кокса. При применении соответствующих реагентов количество кокса и газа уменьшается, что позволяет судить об их эффективности как качественно, так и количественно.

На установке возможны испытания разных типов реагентов: ингибиторов, диспергаторов, пассиваторов.

Дополнительной инструментальной методикой оценки эффективности реагентов являются фотометрические исследования. Количество частиц кокса в продукте висбрекинга коррелирует с количеством кокса образующегося в процессе опыта на стенках реакционной трубки. Распределение частиц смещается в сторону меньших размеров.

Дальнейшие исследования на данной установке и по данным методикам позволят определять влияние состава гудронов на процессы ингибирования, диспергации и пассивации, а также зависимости этих процессов от состава ингибиторов, диспергаторов, пассиваторов.

Список литературы

- 1 Солодова, Н.Л. Тенденции развития нефтепереработки в России / Черкасова Е.И. // Вестник КТУ, Казань. – 2016,. Т. 19. № 21. С. 57-63.
- 2 Макаревич, В.Н. Ресурсный потенциал тяжелых нефтей Российской Федерации: перспективы освоения / В.Н. Макаревич, Н.И. Искрицкая, С.А. Богословский // Нефтегазовая технология. Теория и практика.-2010.-Т.5.-№2.-С.1-13.
- 3 Курочкин, А.К. Экспериментальный поиск перспективной технологии глубокой переработки ашальчинской сверхвязкой нефти / А.К. Курочкин, Р.Р. Хазеев // Сфера. Нефть и газ.-2015.-№2.-С.52-71.
- 4 Кожухова, О.С. Нефтегазовый комплекс России: состояние и направления развития / О.С. Кожухова // Вопросы экономики и права.-2011.-№7.-С.174- 184.
- 5 Материалы к VII заседанию Консультативного совета. Тема заседания: «Импортозамещение в нефтепереработке». – 2014. [Электронный ресурс] URL: <http://www.oil-gas.ru/news/id1504>
- 6 US4383438A Fouling test apparatus
- 7 US4910999A Method and apparatus for conducting fouling tests
- 8 P. Eaton, J. Williams, Delayed Coker Furnace Fouling Control - Laboratory Correlation to Field Experience / NACE International – Corrosion Conference & Expo 2008, Volume 9, Paper № 08670
- 9 US6062069 High temperature fouling test unit
- 10 Павлова, И.В. Ингибирование коксообразования в трубах пиролизных печей / В.К. Половняк, А.Ф. Хабибрахманов, А.К. Старков, М.Е. Чуклова // Вестник КТУ, Казань. – 2009, № 1, с. 73-78.
- 11 Павлова, И.В. Процессы коксообразования на поверхности некоторых материалов / И.В. Павлова, А.Ф. Хабибрахманов, В.К. Половняк // Вестник КТУ, Казань. – 2008, №3, С.19-22.

02.00.00

01.01.00

**Е.Ю. Микрюкова канд. хим. наук, Е.А. Алишева, С.Г. Мингазова канд. филол. наук,
Т.Н. Шигабиев д-р техн. наук**

Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана,
факультет биотехнологии и стандартизации, кафедра естественных наук,
Казань, kafedrametrologiik@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-21-23

В статье представлена разработка лабораторного занятия по теме «Химическая кинетика» с применением методов математического моделирования для обработки полученных результатов.

Ключевые слова: скорость химической реакции, дифференциальное уравнение, производная функции.

В любой науке столько
истины, сколько в ней математики.
Иммануил Кант

Математика служит научным инструментом, для всех без исключения научных областей, в том числе для химии. Очень трудно найти какой-либо раздел математики, который совсем не используется в химии. Функциональный анализ и теория групп широко применяются в квантовой химии, теория вероятностей составляет основу статистической термодинамики, теория графов используется в органической химии для предсказания свойств сложных органических молекул, дифференциальные уравнения являются основным инструментом химической кинетики, методы топологии и дифференциальной геометрии применяются в химической термодинамике [1]. В данной статье мы предлагаем применение дифференциальных уравнений в химической кинетике на примере изучения скорости реакции металла средней активности и раствора соляной кислоты.

Математика в химии используется для анализа полученных результатов, выполнений различных расчётов, в том числе и подсчета вероятного исхода эксперимента. Кроме того, в некоторых разделах химии математика является абсолютной основой. Именно такой раздел мы берем в качестве примера – это раздел химической кинетики [2].

Химия - это наука, изучающая свойства веществ, их превращения, а также влияние внешних условий – давления и температуры. Поэтому можно сказать, что приходится иметь дело с функциями нескольких переменных. Для изучения функции необходимо исследовать ее производную.

Целью данной статьи является рассмотрение возможности применения методов математического моделирования в процессе изучения темы «Химическая кинетика», а также выполнения лабораторных работ по данной теме. Кинетическая химия, или кинетика, – это раздел физической химии, изучающая закономерности протекания химической реакции во времени и ее механизм.

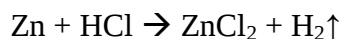
Скорость химической реакции – это изменение концентрации реагирующих веществ за единицу времени. Другими словами, можно сказать, она определяется как производная концентрации веществ по времени.

Традиционно для изучения кинетики в аграрных ВУЗах применяют реакцию взаимодействия тиосульфата натрия и серной кислоты, взятой в избытке, но изучение скорости данной реакции проводят без использования дифференциальных уравнений, на основании определения относительной скорости, определяемой как обратное время появления в растворе осадка серы.

Мы предлагаем для изучения скорости данной реакции использовать методы математического моделирования, с помощью которых выводится зависимость изменения концентрации реагента от времени протекания реакции и соответственно может быть рассчитана абсолютная скорость реакции в любой момент времени. Для выведения данной зависимости необходимо определить концентрацию реагента при различных значениях времени t . Для реакции тиосульфата с серной кислотой это возможно после нейтрализации реагирующего раствора эквивалентным количеством щёлочи и последующим титрованием оставшегося количества тиосульфата методом замещения с иодидом калия и бихроматом. Это достаточно трудоемко и требует большой подготовительной работы со студентами.

Мы можем предложить для изучения скорости более простую реакцию, не требующую предварительной нейтрализации, к примеру взаимодействие соляной кислоты с металлом средней активности.

Для проведения эксперимента мы брали гранулу цинка и раствор 2- молярной соляной кислоты.



Также для реакции можно использовать разные металлы либо различную концентрацию кислоты, наблюдая таким образом зависимость скорости от природы реагентов и от концентрации жидкого реагента.

В процессе проведения реакции через определенные промежутки времени доставали гранулу и взвешивали ее на весах.

Пусть X – масса металла в момент времени t , а X_0 – его начальная масса. Скорость преобразования вещества в соответствии с механическим смыслом первой производной равна $\frac{dX}{dt}$.

Следовательно, дифференциальное уравнение преобразования (изменения) вещества запишется следующим образом:

$$\frac{dX}{dt} = kX$$

где k – коэффициент пропорциональности и константа скорости. Разделяя переменные

$$\frac{dX}{X} = kdt$$

и интегрируя, находим

$$\ln|X| = kt + \ln C \text{ или } X = Ce^{kt}.$$

Учитывая начальные условия ($X = 15\text{г}$ при $t = 1\text{мин}$ и $X = 9\text{г}$ при $t = 2\text{мин}$) получим систему линейных уравнений относительно C и k :

$$\begin{cases} 15 = Ce^k \\ 9 = Ce^{2k} \end{cases},$$

откуда находим $k = \ln \frac{3}{5}$, $C = 25$.

Таким образом, процесс описывается уравнением

$$X = 25e^{\ln \frac{3}{5} t}.$$

Полагая $t = 0$ получим начальное количество вещества $X = 25(\text{г})$, а также получаем значение константы скорости, равное 0,5. [3]

Изучая кинетику данной реакции, мы можем провести параллельное определение изменения концентрации соляной кислоты в процессе реакции. Определение концентрации возможно методом титрования со щелочью и индикатором лакмусом в начальный момент времени и через определенный промежуток времени, титруя аликвоту раствора [4].

Таким образом в результате данной работы студенты выводят уравнение зависимости количества реагента от времени и на основании этой зависимости могут рассчитать мгновенную абсолютную скорость реакции в любой момент времени, также в ходе работы вычисляется константа скорости данной реакции. Для выполнения расчетов студент должен обладать математическими знаниями по теме «Дифференциальные уравнения», «Интегрирование функции». В процессе выполнения расчетов студенты получают необходимые навыки практического применения компетенций, полученных в результате изучения данных тем. Также студенты тренируют навыки аналитической работы, определяя концентрацию кислоты методом титрования.

Список литературы

1. *Ерёмин, В.В.* Математика в химии. 2-е изд., испр., - М.: МЦНМО, 2016. – 64 с.
2. *Колинько, П.А.* Химическая кинетика в курсе физической химии: учебно-методическое указание/ П.А. Колинько, Д.В. Козлов// Новосибирск, 2013. – 99 с.
3. *Мингазова, С.Г.* Математика: учебное пособие для практических и самостоятельных занятий студентов/С.Г. Мингазова, Е.А. Алишева, Т.Н. Шигабиев // Казань: ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ, 2018. – 45 с.
4. *Галеева, С.И.* Лабораторный практикум по общей химии. Часть II/ Галеева С.И., Ситдинов И.Б., Рязанов И.А., Сагдеев К.А., Хисамеев Г.Г.// Казань: КГМУ, 2007. – 5с.
5. *Галеева, С.И.* Руководство к практическим занятиям по общей химии. Часть I/ Галеева С.И., Ситдинов И.Б., Сагдеев К.А., Хисамеев Г.Г.// Казань: КГМУ, 2006. – 62с.

02.00.13

Д.Р. Шангареев, Т.Н. Антонова д-р хим. наук, И.Г. Абрамов д-р хим. наук

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра общей и физической химии,
Ярославль, antonovatn@ystu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ 5-ВИНИЛ-2-НОРБОРНЕНА В ПРИСУТСТВИИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО КАТАЛИЗАТОРА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-24-29

Показана высокая эффективность использования тонкодисперсного катализатора 1%Pd/C в процессе селективного гидрирования 5-винил-2-норборнена в жидкой фазе с целью получения винилнорборнана. Установлено, что в присутствии 1%Pd/C, суспендированного в жидкой фазе, процесс гидрирования протекает в условиях псевдогомогенности в кинетической области. Определены порядки реакции по отдельным реагентам (субстрату, водороду и катализатору) и эффективная энергия активации.

Ключевые слова: 5-винил-2-норборнен, винилнорборнан, жидкофазное гидрирование, тонкодисперсные катализаторы, реакционная способность двойных связей.

Гидрирование алициклических диенов по одной из двойных связей с образованием соответствующих циклоалкенов представляет интерес для последующего синтеза на их основе производных различной функциональности, полимеров для изготовления литых изделий и других материалов с комплексом ценных эксплуатационных свойств [1, 2]. Эффективность применения циклоалкенов для практических целей во многом определяется селективностью их образования в процессе гидрирования, что может иметь место лишь при последовательном насыщении двойных связей циклодиенов.

Ранее было показано, что эффективными катализаторами гидрирования циклодиенов в соответствующие циклоалкены являются палладиевые катализаторы, как формованные, так и тонкодисперсные, где в качестве носителя используется аморфный углерод [2 - 4].

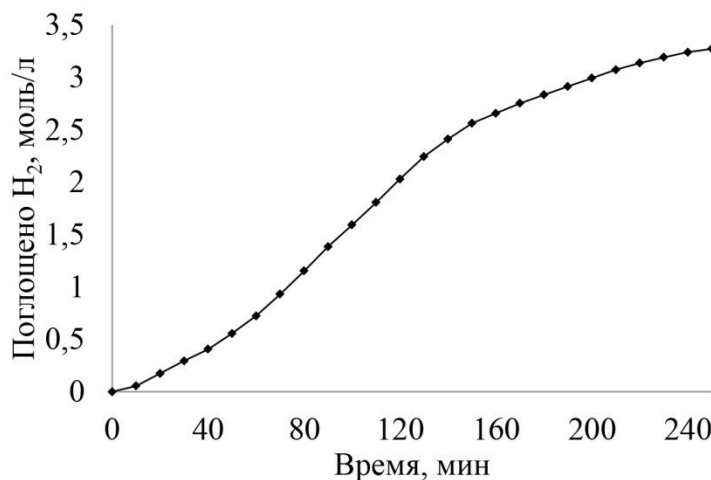
Каталитическое гидрирование циклодиенов водородом в жидкой фазе обуславливает гетерогенность реагирующей системы, где, собственно, реакция гидрирования протекает на поверхности катализатора, в результате чего процесс может протекать в диффузионной области. Однако применение тонкодисперсных катализаторов в условиях интенсивного перемешивания может способствовать переводу трехфазной системы в условия псевдогомогенности, где реализуется кинетический режим протекания процесса.

В этой связи представляет интерес изучение кинетики реакции гидрирования 5-винил-2-норборнена на тонкодисперсном катализаторе - 1% Pd/C - с целью установления режима протекания этой реакции, а также ее оптимизации и моделирования.

Гидрирование 5-винил-2-норборнена в трёхфазной системе газ–жидкость–твёрдый катализатор осуществлялось на волюмометрической установке замкнутого типа, включающей градуированную газовую бюретку, заполненную водородом, и качающийся реактор типа «утка», снабженный рубашкой для теплоносителя. Для исключения возможных полимеризационных процессов в ходе гидрирования 5-винил-2-норборнен использовался в виде его раствора в толуоле.

На рисунке 1 представлена кинетическая кривая поглощения водорода в процессе гидрирования 5-винил-2-норборнена при использовании в качестве катализатора тонкодисперсного 1% Pd/C.

Анализ полученной кинетической кривой показывает, что она имеет два прямолинейных участка, что указывает на возможную последовательность насыщения двойных связей винилнорборнена. По завершении процесса насыщения первой двойной связи винилнорборнена начинается гидрирование второй двойной связи, но с заметно меньшей скоростью. Различие в скоростях поглощения водорода в процессе гидрирования первой и второй двойной связи может быть обусловлено различной реакционной способностью этих связей.



Температура 333 К, растворитель толуол, $C_{\text{кат}} - 4 \text{ г/дм}^3$, $P(\text{H}_2) - 1 \text{ атм.}$, $C_{\text{ВНБ}} - 2,21 \text{ моль/дм}^3$
Рис. 1 – Кинетическая кривая поглощения водорода в процессе гидрирования ВНБ

Согласно литературным данным [2, 5] двойная связь бициклопентенового фрагмента молекулы винилнорборнена напряжена, регибридизована и потому отличается более высокой реакционной способностью, в данном случае, по сравнению с двойной связью винильной группы. Следовательно, именно эта связь в процессе гидрирования 5-винил-2-норборнена насыщается первой и продуктом реакции по завершению этого процесса является винилнорборнан.

Прямолинейный характер кинетических кривых поглощения водорода в процессе гидрирования указывает на тот фактор, что скорость реакции гидрирования постоянна во времени и может быть определена графическим методом по тангенсу угла их наклона к оси абсцисс. В результате становится возможным определить относительную реакционную способность двойных связей винилнорборнена как отношение скоростей их насыщения равное $\frac{W_{\text{эф1}}}{W_{\text{эф2}}} = 2,63$.

Последовательный характер насыщения двойных связей 5-винил-2-норборнена подтверждается данными хроматографического анализа реакционных смесей гидрирования, полученных в результате поглощения различного количества водорода в расчете на моль винилнорборнена (рисунок 2 а,б,в).

Как видно из данных, представленных на рисунке 2б при поглощении водорода в количестве, близком к эквимольному (1,1 : 1,0) в составе продуктов гидрирования отсутствует исходный винилнорборнен и целевым продуктом реакции становится винилнорборнан преимущественно как эндо-винилнорборнан. В связи с тем, что количество поглощенного водорода несколько превысило эквимолекулярное, в реакционной смеси содержится также небольшое количество этилнорборнана. При дальнейшем насыщении теперь уже винилнорборнана продукты реакции содержат, в основном, этилнорборнан (рисунок 2в).

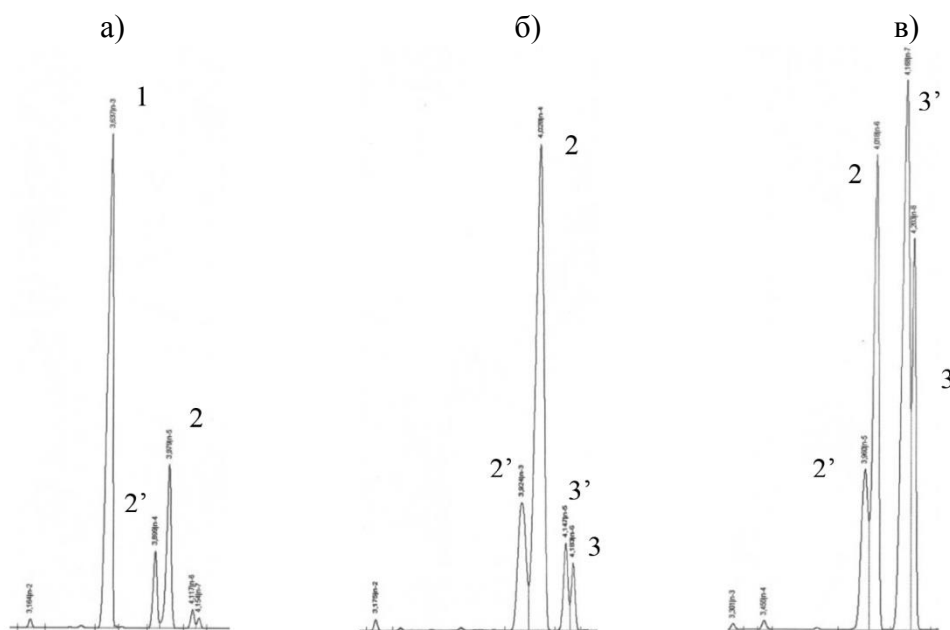


Рис. 2. Хроматограммы продуктов гидрирования ВНБ при различных количествах поглощенного водорода, моль H_2 /моль ВНБ: (а) 0,3; (б) 1,1; (в) 1,4 (1 – исходный ВНБ; 2 – *эндо*-2-винилнорборнан; 2' – *экзо*-2-винилнорборнан; 3 и 3' – *экзо*- и *эндо*-изомеры 2-этилнорборнана).

Использование тонкодисперсного 1%Pd/C, как показано выше позволяет проводить процесс последовательного гидрирования двойных связей 5-винил-2-норборнена при атмосферном давлении.

При осуществлении процесса гидрирования в проточном реакторе периодического действия, где имеет место проток водорода, для сокращения его расхода, может быть целесообразным снижение парциального давления водорода в газовой смеси при сохранении скорости ее протока. Однако такое снижение может привести к падению концентрации водорода, растворенного в жидкой фазе и, следовательно, к уменьшению скорости реакции.

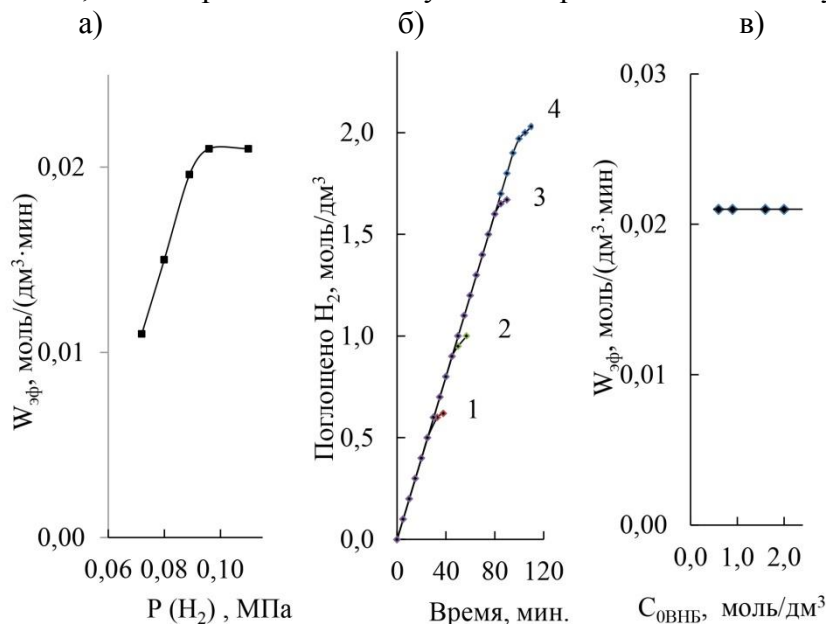
На рисунке 3а представлены результаты изучения влияния парциального давления водорода на скорость поглощения водорода в процессе гидрирования 5-винил-2-норборнена при проведении его на волюмометрической установке замкнутого типа. Снижение парциального давления водорода достигалось здесь путем смешения его с азотом в градуированной газовой бюретке, где фиксировалась объемная доля водорода в газовой смеси.

Анализ данных рисунка 3а показывает, что с увеличением парциального давления водорода в азото-водородной смеси в пределах 0,06...0,090 атм. скорость гидрирования пропорционально возрастает, достигая максимального значения при парциальном давлении водорода близком к атмосферному. Полученные данные свидетельствуют о том, что порядок реакции по водороду в пределах его парциальных давлений 0,06...0,090 атм. является первым, а затем, в избытке водорода, он меняется на нулевой, поскольку при дальнейшем увеличении парциального давления до 0,11 атм. скорость поглощения водорода перестает зависеть от этого фактора (рисунок 3а).

Таким образом, для исключения его влияния процесс гидрирования 5-винил-2-норборнена и в проточном реакторе необходимо проводить при атмосферном давлении водорода.

Анализ кинетических кривых поглощения водорода в процессе гидрирования винилнорборнена в растворе толуола с различной его концентрацией (рисунок 3б, кривые 1 – 4) показывает, что каждая из них является как бы продолжением кинетической кривой поглощения водорода при минимальной концентрации исходного винилнорборнена в растворе (0,6 моль/дм³). Таким образом, скорость реакции гидрирования не зависит от концентрации винилнорборнена в растворе и ее величина, как видно из представленных на рисунке 3в в указанных условиях, составляет 0,021 моль/ дм³*мин.

Постоянство скорости гидрирования винилнорборнена во времени (рисунок 3в) свидетельствует о том, что эта реакция имеет нулевой порядок по исходному реагенту.



Растворитель – толуол, $C_{\text{кат}} = 4 \text{ г/дм}^3$, температура 333 К

Рис. 3 – а) Влияние парциального давления водорода на скорость процесса гидрирования винилнорборнена

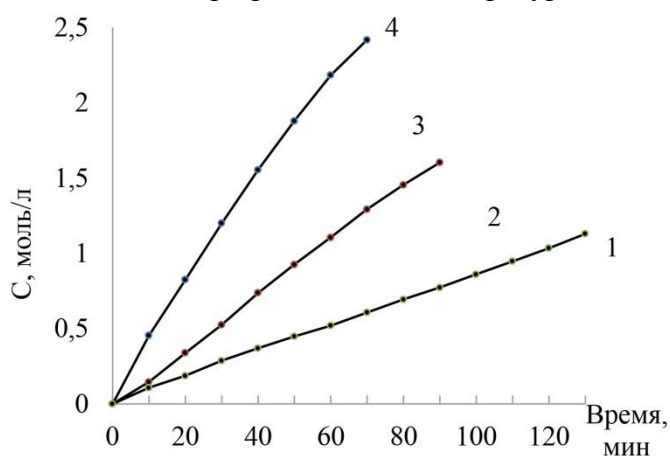
б) Кинетические кривые поглощения водорода при различных концентрациях винилнорборнена в растворе

$C_{0\text{ВНБ}}$: 1 – 0,6 моль/дм³, 2 – 0,9 моль/дм³, 3 – 1,60 моль/дм³, 4 – 2,0 моль/дм³

в) Зависимость скорости поглощения водорода в процессе гидрирования винилнорборнена от его начальной концентрации в растворе

Для реакции нулевого порядка ее продолжительность увеличивается с ростом концентрации винилнорборнена в растворе (рисунок 3б). Тем не менее, для повышения производительности оборудования при реализации данного процесса на практике нами рекомендуется подвергать гидрированию раствор винилнорборнена с его содержанием 25-30 мас. дол, % (~ 2,0 моль/дм³). Продолжительность реакции до полного исчерпывания винилнорборнена, в указанных выше условиях (рисунок 3б, кривая 4), составляет около 100 минут.

На рисунке 4 представлены кинетические кривые поглощения водорода в процессе гидрирования исходного циклодиена при различных температурах - 313-333К.



Растворитель – толуол, катализатор 1% Pd/C, $C_{\text{кат}} = 4 \text{ г/дм}^3$, $C_{0\text{ВНБ}} = 2,21 \text{ моль/дм}^3$, стабилизирующая добавка – ионол

Температура: 1 – 313К, 2 – 323К, 3 – 333К

Рис. 4 - Влияние температуры на процесс гидрирования винилнорборнена

Как видно из полученных данных (таблица 1), с повышением температуры скорость реакции увеличивается в соответствии с Арениусовской зависимостью. Эффективная энергия активации ($E_{эф}$) составляет $62,36 \pm 3,12$ кДж/моль, температурный коэффициент Вант-Гоффа равен 2,05, что указывает на кинетический режим протекания реакции гидрирования винилнорборнена.

Изучение кинетических закономерностей реакции гидрирования 5-винил-2-норборнена водородом в жидкой фазе, показало, что этот процесс протекает в кинетической области в соответствии с законом действующих масс, который может быть представлен следующим образом:

$$W = k \cdot C_{внб}^0 \cdot C_{кат}^1 \cdot C_{H_2}^1$$

Таблица 1 – Кинетические параметры процесса гидрирования 5-винил-2-норборнена

Т, К	$1/T \cdot 10^3$	$W_{эф},$ моль/(дм ³ ·мин)	Коэффициент Вант-Гоффа, (γ)	$E_{эф},$ кДж/моль
313	3,195	0,00923	2,05	$62,36 \pm 3,12$
323	3,096	0,01840		
333	3,003	0,03888		

В системе газ–жидкость–твердый катализатор в избытке водорода скорость гидрирования зависит лишь от концентрации используемого катализатора.

$$W = k \cdot C_{внб}^0 \cdot C_{кат}^1 \cdot C_{H_2}^0$$

или

$$W = k' \cdot C_{кат}^1 \quad \text{и} \quad k' \cdot C_{кат}^1 = k_{эф},$$

$$W_{эф} = k_{эф}$$

Таким образом, кинетическая модель реакции гидрогенизации винилнорборнена, имеющего регбридизованную двойную связь, с использованием тонкодисперсного катализатора (1% Pd/C) с нано-размерными частицами металла имеет простой вид. По своим кинетическим параметрам изучаемая реакция, в соответствии с классификацией Сокольского [6, 7], относится к III типу реакций гидрогенизации и лимитирующей стадией реакций этого типа является активация водорода на поверхности катализатора, что становится возможным в том случае, когда водород и субстрат адсорбируются на различных участках поверхности катализатора. При нулевом порядке по винилнорборнену и водороду степень заполнения поверхности катализатора этими реагентами максимальна.

Необходимо отметить, что реакция гидрирования 5-винил-2-норборнена в винилнорборнан протекает селективно (таблица 3.2).

Таблица 2 - Выход целевого винилнорборнана в зависимости от температуры

$$C_{кат} = 4 \text{ г/дм}^3, C_{внб}^* = 2,21 \text{ моль/дм}^3$$

Растворитель	Т, К	Выход винилнорборнана, %
Толуол	313	88.7
	323	89.0
	333	88.0

*стабилизирующая добавка - ионол

Выход целевого винилнорборнана отличается от 100% потому, что реакция гидрирования завершалась, когда количество поглощенного водорода превышало эквимольное количество примерно на 10% только для того, чтобы достигалась гарантия полного исчерпывания исходного диена (5-винил-2-норборнена). В этом случае в продуктах реакции наряду с винилнорборнаном содержалось некоторое количество (около 10%) этилнорборнана, достаточно инертного для последующего использования винилнорборнана для практических целей.

Список литературы

1. Фельдблюм В.Ш., Синтез и применение непредельных углеводородов. М.: Химия. 1982. С. 208.
2. Верецагина Н.В., Антонова Т.Н., Абрамов И.Г., Копушкина Г.Ю. // Нефтехимия. 2014. Т. 54. № 3. С. 201. // Petroleum Chemistry. 2014. V. 54. № 3. P. 207.
3. Осокин Ю.Г., Михайлов В.А., Зубович И.А., В.Ш.Фельдблюм // Доклады АН СССР. 1975. Т. 220. №4. С.851.
4. Стефогло Е.Ф., Газожидкостные реакторы с суспендированным катализатором. Новосибирск: Наука. 1990. С. 232.
5. Потапов, В.М. Стереохимия / В.М. Потапов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 464 с.
6. Сокольский, Д.В. Введение в теорию гетерогенного катализа / Д.В. Сокольский, В.А. Друзь. – М.: Высшая школа, 1981 – 215 с.
7. Сокольский, Д.В. Механизмы каталитической гидрогенизации и оптимизация катализаторов гидрирования. Механизм катализа. Природа каталитического действия: сб. статей под ред. Борескова Г.К. – Ч.1. – Новосибирск: Наука, 1984. – С.87 – 100.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

Д.Г. Алленов, В.В. Копылов канд. техн. наук, Т.М. Ба, А. Камара

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,
Инженерная академия, департамент машиностроения и приборостроения
Москва, dmitry.allenov@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛИ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-30-34**

В работе исследовано влияние режимов резания на качество поверхностного слоя детали и её эксплуатационные характеристики. Выявлены зависимости подачи при токарной обработке на чистоту поверхности. Обнаружена взаимосвязь между материалом детали, условиями работы, качеством поверхностного слоя и эксплуатационными характеристиками детали.

Ключевые слова: *шероховатость, режимы резания, подача, износостойкость, токарная обработка.*

Обеспечение эксплуатационных характеристик детали, а в частности её износостойкости, является одной из основных задач современного машиностроения. Это особенно важно для деталей, работающих в тяжелых условиях, при высоких температурах и больших нагрузках. В ранее проведенных работах неоднократно указывалось на зависимость качества поверхностного слоя и эксплуатационных характеристик детали [1,2]. Можно выделить следующие причины такой взаимосвязи:

- при повышенных нагрузках поверхностный слой детали работает в более жестких условиях, нежели слои расположенные на удалении от рабочей поверхности.
- в процессе резания на поверхности детали возникают неуравновешенные атомные связи, облегчающие процесс возникновения и расширения дислокаций;
- любой технологии обработки свойственно возникновение дислокаций и микронеровностей на поверхностном слое детали, которые являются концентраторами напряжений, что приводит к образованию и развитию усталостных трещин;
- с использованием методов пластического деформирования возможно создать в поверхностном слое полезные сжимающие напряжения и снизить шероховатость. Стоит отметить, что при работе в условиях повышенных температур более высокую прочность будут иметь детали без деформационного упрочнения. [3,4];
- при использовании защитного покрытия в детали его эксплуатационные характеристики в большой степени будут зависеть от качества поверхности, на которое оно было нанесено;
- скорость релаксации свойств поверхностного слоя и его разупрочнение в процессе эксплуатации детали находятся в тесной корреляционной связи с применяемой технологией изготовления [5].

В современном машиностроении легко прослеживается тенденция усложнения конструкций узлов машин и механизмов, что приводит к повышению требований к качеству поверхностного слоя и точности механообработки. Одним из основных факторов формирующих чистоту поверхности является величина подачи при токарной обработке [6]. Таким образом, работоспособность деталей машин имеет прямую зависимость от выбранных режимов резания. Степень этой зависимости исследована в данной работе.

Для экспериментальной оценки влияния режимов резания на эксплуатационные характеристики детали были взяты 10 цилиндрических образцов размером 60х30 мм, 5 из Ст. 45 и 5 из Д16Т (рис. 1), обработанные на различных режимах резания.



Рис. 1 – Используемые образцы

Обработка проводилась на токарном станке 16К20 проходным чистовым резцом. Режимы резания: $n=630$ об/мин; $t=0,2$ мм; $s=0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3$. Шероховатость измерялась на профилометре Протон-130 в четырех точках с поворотом на 90° и усреднением полученных значений. Полученная зависимость чистоты поверхности от шероховатости представлена на рис. 2.

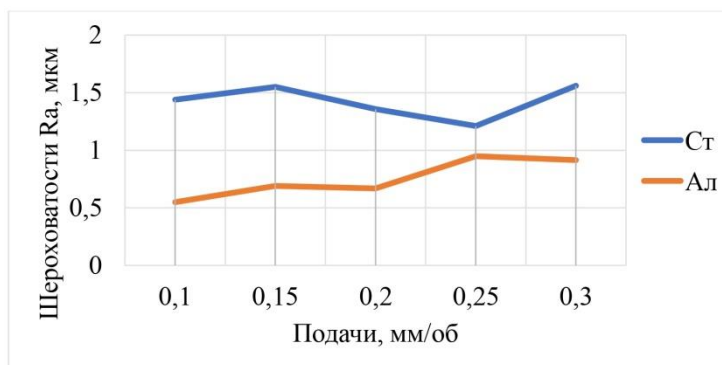


Рис. 2 – Зависимость шероховатости от подачи, при токарной обработке

Как видно из графиков с увеличением подачи, повышалась и шероховатость поверхности. Данная зависимость прослеживается как на стальных образцах, так и на образцах из алюминия. Падение значений шероховатости на стальных заготовках с подачей 0,2 мм/об и 0,25мм/об связано с тем, что при таких режимах обработки на режущей кромке резца происходит налипание обрабатываемого материала, что в свою очередь приводит к выглаживанию поверхности и снижению шероховатости.. После исследования шероховатости, было проведено измерение твердости поверхностного слоя на цифровом твердометре HVS-1000. Результаты измерения показаны на рисунке 3.

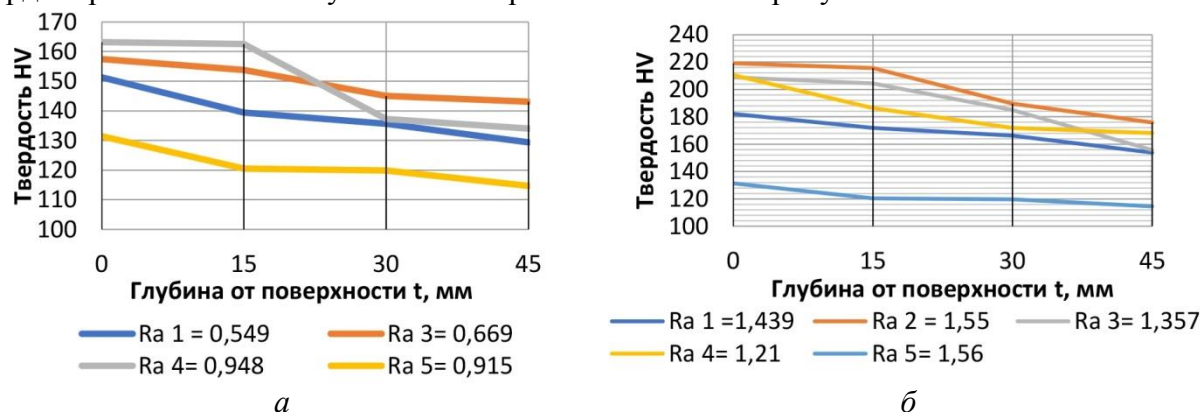


Рис. 3 – Зависимость твердости поверхностного слоя от шероховатости, полученной при обработке с различной величиной подачи для: а – Д16Т, б – Ст. 45

Одной из главных эксплуатационных характеристик детали является её износостойкость. Для исследования влияния качества поверхности на износостойкость изделия были проведены трибометрические испытания. В качестве пар трения были выбраны исследуемые образцы, обработанные резанием с различной подачей, и шарик из ШХ9 (HRC = 63).

Испытания проводились на токарном станке (рис. 4). Время испытания – 10 минут; температура – 20 °С; частота вращения образцов – 200 об/мин; в зону трения подавалось масло Lukoil 10w40. Нагрузка на исследуемый образец варьировалась с помощью пружины с изменяемой величиной сжатия. Это обеспечивает надежный контакт пар трения и снижает вибрации.

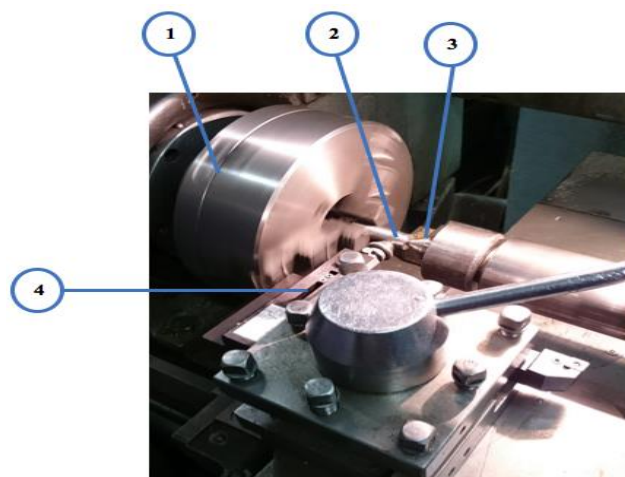


Рис. 4 – Установки для исследования износостойкости поверхности:

1 – патрон; 2 – деталь; 3 – центр; 4 – выглаживатель

Табл. 1 - Параметры нагрузки и шероховатости при испытании

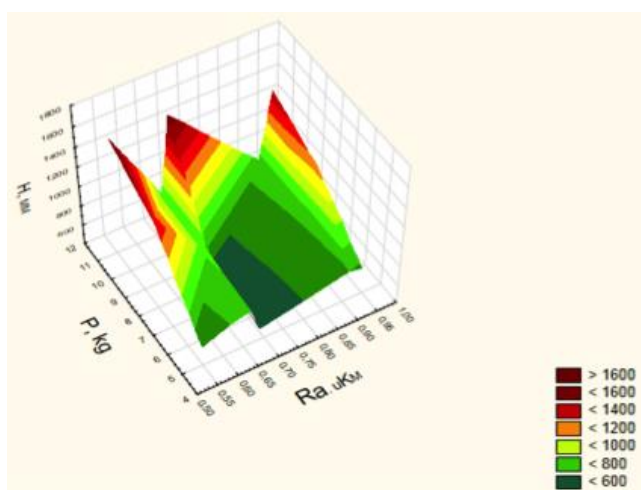
№ испытания	Шерохова-тость Ra, мкм	Нагрузка Р, Н	№ испытания	Шерохова-тость Ra, мкм	Нагрузка Р, Н
1	1,439	50	16	0,549	50
2	1,55	50	17	0,691	50
3	1,375	50	18	0,669	50
4	1,21	50	19	0,947	50
5	1,56	50	20	0,915	50
6	1,439	80	21	0,549	80
7	1,55	80	22	0,691	80
8	1,375	80	23	0,669	80
9	1,21	80	24	0,947	80
10	1,56	80	25	0,915	80
11	1,439	110	26	0,549	110
12	1,55	110	27	0,691	110
13	1,375	110	28	0,669	110
14	1,21	110	29	0,947	110
15	1,56	110	30	0,915	110

Испытания с номерами 1-15 проводились на образцах из Ст 45, с номерами 16 – 30 на образцах из Д16Т. Время проведения испытаний подобрано опытным путем так, чтобы за время проведения эксперимента фаска износа стирала слой шероховатости. Это было необходимо для прослеживания влияния качества поверхностного слоя на износостойкость образца.

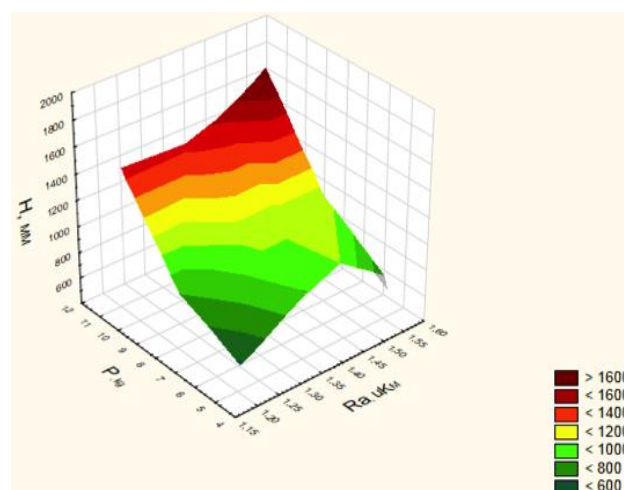
Размер фаски износа измерялся на бинокулярном микроскопе. Полученные снимки фаски износа обрабатывались в программном пакете AutoCAD.

Таблица 2 - Параметры нагрузки и шероховатости при испытании

Сталь		Алюминий	
№ испытания	Размер фаски износа, мкм	№ испытания	Размер фаски износа, мкм
1	999,85	16	600,84
2	735,13	17	505,71
3	890,32	18	765,31
4	585,21	19	675,22
5	589,47	20	698,29
6	1042,65	21	1306,93
7	1044,7	22	532,44
8	1045,82	23	820,83
9	794,34	24	1157,82
10	903,46	25	714,6
11	1525,33	26	1600,30
12	1755,07	27	1577,29
13	1438,73	28	821,01
14	1458,47	29	1402,09
15	1516,47	30	740,26



а)



б)

Рис. 5 - Зависимости размера износа (H) от нагрузки (P) и шероховатости (Ra), полученной при токарной обработке с различной подачей: а – алюминий; б – сталь

Как видно из графика (рис. 5б), для деталей из Ст. 45, максимального значения $H = 1755,07$ мкм фаска износа достигает при шероховатости $Ra = 1,55$ мкм и нагрузке 110 Н. Наименьшее значение $H = 1755,07$ мкм достигается при $Ra = 1,21$ и $P = 50$ Н. На заготовке из Д16Т влияние шероховатости не так существенно. По результатам исследования можно сделать вывод, что с увеличением величины подачи, а следовательно и повышением шероховатости износостойкость поверхности снижается. Из этого следует, что при проведении механообработки, большое внимание следует уделять правильному выбору режимов резания.

Список используемых источников

1. Алленов Д.Г. Исследование влияния износа режущей кромки инструмента на деформации поверхностного слоя детали / Д.Г. Алленов, М.П. Козочкин // Вестник «Станкин». – М.: 2015. – №4. – с. 15 – 19.
2. Алленов Д.Г. Влияние разрушений режущей кромки инструмента на износостойкость обрабатываемой поверхности // Вестник «Станкин». – М.: 2016. – №2. – с. 45 – 49
3. Митряев К.Ф. Повышение эксплуатационных свойств деталей путём регулирования состояния поверхностного слоя при механической обработке./Куйбышев, 1989. 96 с.
4. Мухин В.С., Шустер Л.Ш. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов. Учеб. пособие. / Уфа, УфАИ, 1987. 217 с.
5. Allenov D. G. Effect of Wear of Tool Cutting Edge on Detail Surface Layer Deformation and Parameters of Vibro-Acoustic Signals / D.G. Allenov, M. P. Kozochkin, M. A. Volosova // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 876. – pp. 50-58.
6. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. – М: Машиностроение, 2000. – 318 с.
7. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
8. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. - 244 с.
9. Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
10. Клепиков В.В. Качество изделий: Учебное пособие. 3-е изд., дополненное и переработанное / В.В. Клепиков, В.В. Порошин, В.А. Голов. – М.: МГИУ, 2008. – 288 с.

05.02.00

**А.В. Арефьев, М.С. Болховитин, Л.Н. Лесневский д-р техн. наук,
В.А Панов канд. техн. наук**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра «Технология производства двигателей летательных аппаратов»,
Москва, kaf205@mai.ru

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШТАМПОВ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-35-40

Рассматриваются вопросы, связанные с улучшением технологического процесса изготовления лопаток компрессора последних ступеней ГТД, выполняемых из хромоникелевых сплавов. Авторами на основе известного и собственного опыта детально проанализированы повреждения штампов и заготовок, приведена классификация дефектов и повреждений штамповой оснастки и перечислены основные мероприятия и технические решения выполненные в процессе совершенствования технологического процесса объемной штамповки лопаток ГТД.

Ключевые слова: *штамповая оснастка, заготовка, лопатка компрессора, дефекты, объемная штамповка.*

Технологический процесс точной штамповки.

Анализ повреждений, дефектов поверхностей штамповой оснастки имеет решающее значение для определения целесообразных режимов горячей штамповки и путей повышения стойкости штампов. По данным [1,2] полный анализ факторов разрушения и повреждений штампов провести довольно трудно, поскольку между отдельными процессами разрушений имеются тесные связи, исключающие их независимое рассмотрение в реальных условиях [3]. Поэтому, для того, чтобы выявить наиболее существенные факторы разрушения штампов провести анализ чаще и достоверней всего использовать производственный опыт.

В настоящей статье использован опыт работ [4,5] и отчасти опыт ОАО ММП им. В.В. Чернышева по изготовлению методом «точной штамповки» [6] лопаток компрессора высокого давления (КВД) последних ступеней, выполняемых из хромоникелевых сплавов. Эти сплавы благодаря своим механическим свойствам более эффективно работают при высоких температурах (до 1500⁰С), тогда как лопатки первых ступеней компрессора низкого давления выполняют, как правило, из титановых сплавов. И если технология объемной горячей штамповки лопаток из титановых сплавов под последующую электрохимическую или механическую обработку достаточно хорошо освоена на многих авиадвигательных предприятиях, то вопросы технологии обработки пера лопаток посредством вальцевания хромоникелевых сплавов требуют специальных исследований, а вопросы изнашиваемости и стойкости штамповой оснастки в этом случае приобретают особое значение. Рабочие поверхности штампов в этом случае изнашиваются быстрее и процесс формообразования лопаток состоит из большего числа операций, обеспечивающих несколько стадий формования лопаток. Процедура формообразования лопаток представлена на рисунке 1.

Технология точной штамповки в этом случае представляет собой следующую последовательность операций. Заготовка в виде мерного калиброванного прутка нагревается в расплаве солей бария ($BaCl_2$) до температуры деформирования (ковки) сплава (сплав ЭП866 – $T_{ков}$ 1150⁰С±10°, сплав ЭП718 – $T_{ков}$ 1100⁰С±5°). Нагретая заготовка устанавливается в фасонные полу матрицы предварительно обильно смазанные Укренолом 7 и продавливается пуансоном на кривошипно-шатунном прессе. Часть горячего металла проходя через фасонное отверстие в полу матрицах формирует будущее перо, а другая часть заполняет полость ответственную за формообразование замковой части лопатки. Таким образом заготовка приобретает вид лопатки.

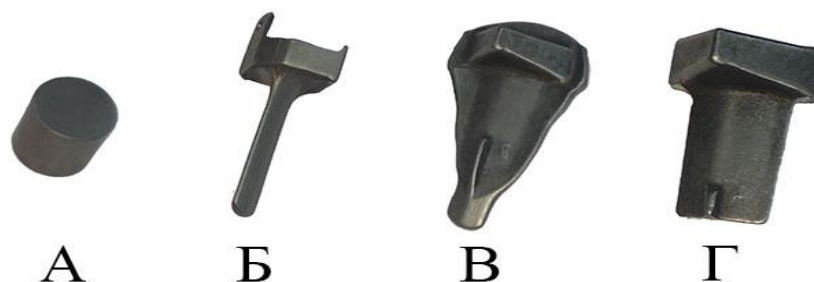


Рис. 1 - Процесс формообразования лопаток из хромоникелевых сплавов:
А-мерная заготовка, Б-выдавленная заготовка под штамповку,
В-заготовка после штампования, Г-обрезанная заготовка под вальцевание

Следующей операцией заготовка опять подвергается нагреву в расплаве солей бария до той-же необходимой температуры штампования (сплав ЭП866 – $T_{\text{КОВ}} 1150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$, сплав ЭП718 – $T_{\text{КОВ}} 1050^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$). Позиционирование нагретой заготовки в штамповой оснастке выполняется по замковой части, которая была сформирована в предыдущей операции. В отличие от операции выдавливания, где применяется графитсодержащей Укренол 7 для смазки, в штамповке применяется разбрызгивание малого количества жидкого масла. Делается это для того, чтобы оставшиеся на заготовке соли бария не прилипали к рабочим поверхностям штампа и не препятствовали формообразованию лопатки. К сожалению, применение консистентных смазок негативно сказывается на заполнение замковых частей в штампе. Происходит закупоривание полостей в углах перехода с замковой части на перо и смазке некуда течь, что в свою очередь приводит к неполной штамповке заготовки. Операция штампования происходит в одно смыкание верхней полуматрицы с нижней с вытеснением излишков металла в облой, который последующими операциями удаляется, и такая заготовка передается на протяжку или фрезерование замка. Перо лопатки, как правило, при такой технологии формования заготовки вальцуют, используя метод точной штамповки. Преимущества точной штамповки заключается в том, что она допускает оставлять минимальные припуска под вальцевание. Стоит также отметить, что и само вальцевание по хорошо отлаженной технологии проходит при минимальном количестве переходов, что экономически более целесообразно. Как следует из этого краткого описания технологии точной штамповки её всё-таки отличает многооперационность и связанные с ней сложность в изготовлении и эксплуатации штампов и их низкая стойкость (1200...2000) штамповок.

Дефекты и повреждения штамповой оснастки

Поэтому современное развитие кузнечно-штампового производства вынуждено предъявлять серьезные требования как к проектированию, так и к изготовлению и эксплуатации штамповой оснастки, к обеспечению их повышенной стойкости и работоспособности, особенно в области горячей штамповки трудноформируемых материалов. Когда в процессе горячей штамповки начинают проявляться дефекты, предпринимаются попытки найти причины их возникновения, внедряются мероприятия для того, чтобы предотвратить их повторное проявление.

Известно [7,8], что штамповка в большой степени экспериментально ориентированный процесс, и, поскольку в результате штамповки появляется конечный продукт за очень короткое время и зачастую с лучшими механическими и металлургическими свойствами, чем у деталей, изготовленных литьем и механической обработкой, то появление дефектов приводит к большой «цене» брака. Различные причины повреждений, дефектов штампов рассмотрены в работах [11-16], но детально классифицированы в работе [2], и в зависимости от места использования штампа в технологической цепочке разделены на три группы: катастрофические, производственные, и операционные (эксплуатационные), как это изображено на рисунке 2.



Рис. 2 - Классификация причин повреждения штампов [2]

Приняв за основу предложенную классификацию рассмотрим последовательно причины повреждений применительно к обработке труднообрабатываемых материалов – сталей типа ЭП-866, ЭИ-718.

Признается катастрофическим дефектом штампов выполненная с ошибками конструкция, разработка неправильного, несовершенного устройства штампа, неправильное хранение и неправильное обращение со штампом во время транспортировки, а также различные форс-мажорные обстоятельства, во время которых штампы безвозвратно разрушаются.

Дефекты во время изготовления штампов чаще всего связаны с неправильным выбором материала штамповой стали, свойства которой не соответствуют условиям горячей штамповки, а также с неправильно назначенными режимами формообразования и обработки. Материалы и режимы обработки в процессе изготовления штампов должны обеспечивать высокую ударную вязкость и высокую усталостную прочность, являющимися, как известно, основными факторами, определяющими их стойкость [17]. Эксплуатационные дефекты являются основными причинами повреждения штампов. Почти все встречающиеся на практике механизмы повреждения, дефекты штампов связаны с условиями их работы: температурой, механической нагрузкой, циклами постоянного нагрева и охлаждения и др.

В процессе горячей штамповки штамп подвергается воздействию трех основных факторов, которые вызывают его разрушение: циклически изменяемая нагрузка, интенсивные тепловые нагрузки и интенсивное трение и износ. Анализ этих факторов позволил выделить такие разновидности разрушений гравюры (отпечатка) штампов, как необратимая пластическая деформация, термомеханическая усталость и абразивный износ.

По данным [18], изучение более 120 различных форм полостей штампов от 20 различных производителей деталей методом горячей штамповки показало, что более 70% всех отказов штампов связано с абразивным износом, и только 25% отказов обусловлены механической усталостью с грубым растрескиванием, термическим усталостным растрескиванием и необратимой пластической деформацией рабочих поверхностей штампов.

Износ штампа определяется в основном воздействием потока горячего металла в полости гравюры штампа. На износ оказывают влияния различные факторы, такие как температура, скорости и путь скольжения горячего металла, контактные давления, условия смазки, величина нагрузки и вибрация, состояние области контакта, чистовая обработка и свойства материала. Износ особенно значительно проявляется, если конструкция штампа сложна или металл трудно поддается обработке или на рабочем металле имеется окалина. На рисунке 3 представлены типы механизмов износа штампов при горячей штамповке в процентном отношении [19].

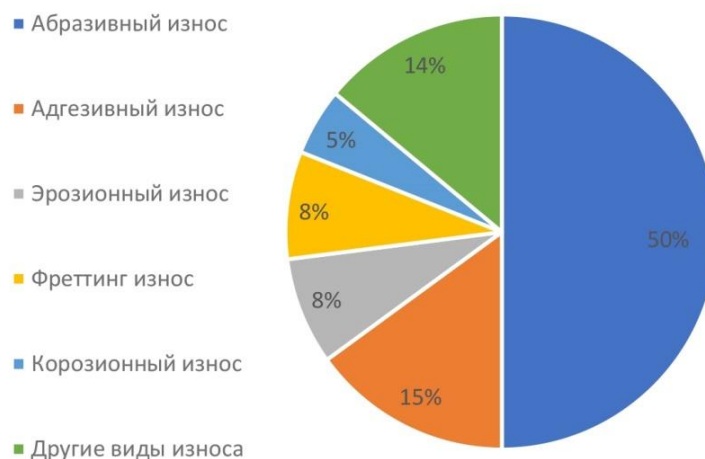


Рис. 3 - Типы механизмов износа штампа при горячей штамповке [19]

Абразивный износ (износ истиранием) протекает одновременно по всему периметру гравюры или на отдельных ее участках, там, где имеет место значительное течение металла. По данным [20], абразивный износ вызывается механическим зацеплением микронеровностей при полусухом трении и воздействием твердых мелкодисперсных частиц, попадающих в зону взаимодействия потока металла с рабочей поверхностью штампа. Механические аспекты взаимодействия частиц абразива с поверхностью штампа определяются свойствами абразива и материала штампа и приводят в итоге к увеличению размеров гравюры штампа. Термомеханическая усталость штампов является следствием температурного режима работы штампа. Влияние температуры сказывается на изменение механических свойств материала штампа, на структурных превращениях в рабочей поверхности и появление отпуска, на возникновении напряжений от неравномерного распределения температур [21].

В контактных зонах из-за возникающего в результате напряженного-деформированного состояния в отдельных микрообъемах может приводить к необратимой пластической деформации, проявляющейся в виде пластического течения, смещению тонких поверхностных слоев гравюры в направлении течения металла. В результате на поверхности гравюры образуются бороздки, риски, трещины. Следствием термомеханической усталости является появление разгарной сетки трещин, которые располагаются на отдельных участках поверхности гравюры, на кромках, на облойном мостике. В нормальных условиях работы штамп должен иметь температуру, не превышающую 600 °С, она соответствует прочности стали и не допускает большого перепада температур. Правильно подобранные режимы искусственного охлаждения, которое происходит в промежутке между двумя переходами штамповки, или использование специально предусматриваемого внутреннего охлаждения штампов, обеспечивают уменьшение разгара и способствует повышению их стойкости [8]. Особая роль при штамповке в открытых штампах отводится облою, поскольку в этом случае между подвижной и не подвижной частями штампа существует переменный зазор (мостик). В этот зазор вытекает часть металла, тем самым закрывая выход из полости штампа и обеспечивая полное заполнение всей полости. Образовавшийся заусенец обрезается в специальных штампах. Высота облойного мостика выбирается по аналогии с известными процессами штамповки подобных поковок или путем расчета. По данным [22] высота мостика в ущерб экономии металла может быть увеличена, что приводит к увеличению стойкости штампа. Если облой очень тонкий и радиусы скругления его малы, то это может приводить к растрескиванию облоя и проникновению возникающих трещин во внутреннюю полость область штамповки после его зачистки. Другими способами предотвращения растрескивания облоя являются: перемещение облоя в менее критическую область штамповки, горячая зачистка облоя [8].

Выводы

Проведённый в работе общий анализ повреждений штамповок и используемой штамповой оснастки позволил внести целый ряд конструктивно-технологических предложений, как по существенному улучшению технологического процесса изготовления хромоникелевых лопаток КВД газотурбинных двигателей [6], так и по усовершенствованию конструкции элементов штампов и устранению ряда повреждений и дефектов, снижающих их стойкость [23]. Так был предложен и внедрён способ обновления гравюры штампа до конечного износа. Были оптимизированы длина и углы раскрытия облойного мостика, что позволило повысить стойкость оснастки и снизить сопротивление течения металла. Разработанная новая геометрия облойного магазина также позволила увеличить срок службы оснастки и понизила сопротивление при штамповании. Использование твёрдых сплавов в операциях профильного выдавливания привело к исчезновению «сабления» профиля лопатки и повышению её точности. В матрицах на выдавливание под точную штамповку был предусмотрен канал для удаления излишков смазочной консистенции, что позволило уменьшить припуска по замку лопатки и уменьшить количество бракованных деталей. Все перечисленные предложения нашли отражение при разработке конструкторской документации на новые штампы и используются в серийном производстве.

Список литературы

1. С.А. Довнер Термомеханика упрочнения и разрушение штампов объемной штамповки, Москва, Машиностроение, 1975г. -255 с.
2. V. Chander, V. Chavla Failure of Hot Forming Die – An Updated Perspective // Materials Today Processing, 4, 2017. pp. 1147-1157.
3. S. Kalpakjian, S.Schmid Manufacturing, Engineering and Technology, Chapter 14. Metal-Forging Processes and Equipment, Singapore, 2006. – 1326 p.
4. Yu-Pei Lin Investigation of Die Wear by Modelling the Extrusion of Inconel 718, Dissertation PhD, University of Birmingham, 2009. – 176 p.
5. J.Sinczak, A.Lukaszek-Solec, S.Bednarek, P.Chyla The forging process of aircraft engines turbine blades//Metallurgy and Foundry Engineering,2010.V.36,#2.pp.83-90
6. М.С. Болховитин., Н.Н. Королёв., В.П. Монахова Повышение эффективности управления технологическим процессом точной штамповки при изготовлении лопаток компрессора газотурбинных двигателей // Труды МАИ №81, 2015. -14 с.
7. Дёмин Ф.И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей (Электронный ресурс)/Ф.И.Дёмин, Н.Д.Проницев, Н.А.Шитарев, под общ. ред. Дёмина Ф.И. – 2 изд. – Самара: Изд. СГАУ, 2012.
8. M.E. Rathi, N.A. Jakhade An Overview of Forging Processes with Their Defects // International Journal of Scientific and Research Publication, V.4, Iss.6, 2014.
9. R. Chandramouli Forging die design and forging defects, SASTRA University, Thanjavur - 613 401, 2012. -7p.
10. M. Hawryluk, J.Jakubik Analysis of forging defects for selected industrial die forging processes // Engineering Failure Analysis, 2016. V.59. pp. 396-409
11. Z.Gronostaiski, M.Kaszuba, S.Polak, M.Zweirchowski, A.Neichajowicz, M.Hawryluk The failure mechanisms of hot forging dies // Materials Science and Engineering:A, 2016.V.657. pp.147-160
12. S.Chander, V.Chavla Failure of Hot Forging Dies – An Updated Perspective // Materialstoday: proceedings, 2017.V.4, Iss 2, Part A. pp. 1147-1157
13. H.Paschke, T.Yikiran, L.Lippold, K.Brunotte, M.Weber, G.Braener, B.A.Behrens Adapted surface properties of hot forging tools using plasma technology for an effective wear reduction // Wear, 2015. V.330-331. Pp. 429-438
14. M.Hawryluk, J.Ziomba Possibilities of application measurement techniques in hot die forging processes // Measurement, 2017. V.110. pp. 284-295

15. *M.Hawryluk* Review of selected methods of increasing the life of forging tools in hot die forging processes // Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2016. V.16, Iss 4. Pp. 845-866
16. *Z.Gronostaiski, M.Kaszuba, M.Hawryluk, M.Zweirchowski* A review of the degradation mechanisms of the hot forging tools // Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2014. V.14, Iss 4. Pp.528-539
17. www.gendocs.ru Штамповые стали.
18. *T.C. Grobski* Preliminary Research For the Development of a Hot Forming Die life Prediction Model: College of Engineering and Technology Oho University, 2004.-119p.
19. *S. Abachi* Wear analysis of hot forging dies Middle East Technical University, 2004.-94p.
20. *K. Venkatesan, C. Subramanian, C. Summerville* Three-body abrasion of surface engineered die steel at elevated temperature // Wear, 1997.# 203-204.pp. 129-138
21. *Ch.Choi, Adam Groseclose, Taylan Altan* Estimation of plastic deformation and abrasive wear in warm forging dies // Journal of Material Processing Technology, 2012. #212. Pp.1742-1752
22. *S.J.Mirahmadi, M.Hamedi* Flash Gap Optimization in Precision Blade Forging // International Journal of Mechanical Engineering and Robotic Research, 2017. V.6, #3. pp. 200-205
23. *А.В. Арефьев, М.С. Болховитин* Оптимизация технологии изготовления ковочных штампов для производства лопаток КВД // Конференция молодых учёных, студентов и специалистов «I Чернышевские чтения», Москва 2014. -16 с.

05.02.07

**А.Н. Афонин д-р техн. наук, А.В. Макаров канд. техн. наук, А.И. Ларин,
Е.М. Мартынов**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,
филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,
кафедра технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта
Старый Оскол, afonin@bsu.edu.ru, makarov.av@mail.ru, larin.a.i@yandex.ru

ГЕТЕРОГЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЗЬБ И ПРОФИЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-41-43

В работе установлено, что эксплуатационные характеристики резьб, шлицев, зубьев и других профилей могут быть повышены за счет гетерогенного упрочнения поверхностного слоя. Рассмотрены методы формирования гетерогенной структуры поверхностного слоя резьб и профилей. Установлено, что применение различных способов ППД позволяет в широких пределах варьировать степень, глубину и равномерность упрочнения деталей машин.

Ключевые слова: резьба, шлицы, зубья, гетерогенное упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, усталостная прочность.

Резьбы, зубья, шлицы и другие периодически повторяющиеся профили являются одним из наиболее распространенных видов поверхностей деталей машин. Установлено [1, 2], что значительное повышение эксплуатационных свойств резьб и профилей может быть получено за счет создания на их рабочих поверхностях повторяющихся участков с высокой и низкой твердостью. Это способствует торможению развития микротрещин и повышению усталостной прочности материала.

Известно, что одним из наиболее эффективных способов повышения усталостной прочности резьб и профилей является упрочнение их с помощью поверхностного пластического деформирования (ППД). При этом, для получения гетерогенно упрочненных структур могут быть использованы различные методы ППД. Например гетерогенно упрочненная структура поверхностного слоя может быть получена применением динамических методов ППД, в частности статико-импульсной обработки (СИО) [1, 2]. СИО осуществляется при периодическом динамическом и постоянном статическом воздействии деформирующего инструмента на обрабатываемую поверхность. Динамическое (ударное) воздействие создает большие напряжения в пятне контакта инструмента и заготовки при сравнительно небольшой затраченной мощности, а статический поджим способствует более эффективной передаче ударного импульса в обрабатываемую поверхность. Для создания ударных импульсов при СИО могут быть использованы гидравлические или электрические генераторы ударных импульсов. Данные устройства обеспечивают нагружение деформирующего инструмента с помощью ударной системы, состоящей из бойка и волновода, что позволяет формировать ударные импульсы требуемой формы и создавать наилучшие условия для протекания пластической деформации. Глубина упрочнения при СИО может достигать 10 мм и более при степени упрочнения до 100% и более [1 - 3].

Степень, глубина и равномерность упрочнения поверхностного слоя при СИО резьб и профилей будет зависеть от размеров пластических отпечатков от отдельных импульсов и от коэффициента их перекрытия [1]

$$K = 1 - \frac{s}{\delta f 60},$$

где s – скорость подачи, мм/мин;

δ – размер пластического отпечатка, мм;

f – частота ударов, Гц.

Диапазон изменения коэффициента перекрытия составляет от $-\infty$ до 1, однако на практике целесообразно варьирование K в диапазоне $-1 \leq K \leq 1$.

Определить характер распределения полей напряжений и деформаций при накатывании и упрочнении ППД резьб и профилей можно с помощью моделирования данных процессов методом конечных элементов (МКЭ) [4]. На рис. 1 показаны поля эквивалентных деформаций в упрочненной СИО резьбовой поверхности заготовки из стали 45, полученные путем подобного моделирования. Распределение эквивалентных деформаций позволяет судить о степени упрочнения деформированной детали. Полученные результаты с достаточной степенью точности соответствуют результатам экспериментальных исследований [3].

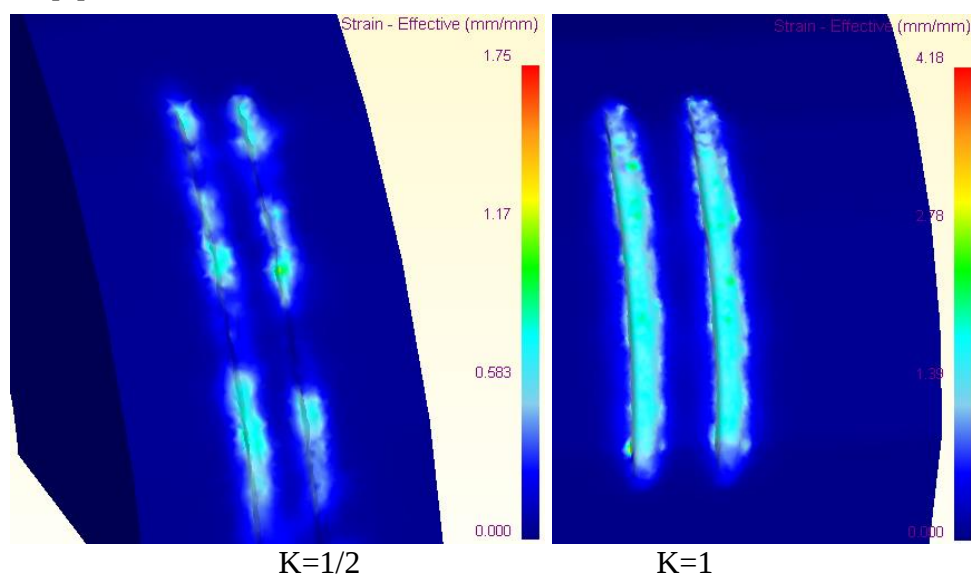


Рис. 1. - Эквивалентные деформации при СИО резьбовых канавок.

Управлять степенью, глубиной и равномерностью упрочнения при СИО можно с помощью энергии и частоты деформирующих импульсов, скорости подачи заготовки и размеров деформирующего инструмента (для роликов – диаметра и длины) на основе анализа результатов моделирования.

Применение динамических методов ППД для обработки резьб и профилей затруднено тем, что содержащие их детали зачастую имеют низкую жесткость. В связи с этим, для получения гетерогенных структур при упрочнении точных и нежестких деталей можно использовать комбинированную режуще-деформирующую обработку [5].

При реализации режуще-деформирующей обработки ППД на упрочняемой поверхности детали формируется волнистый рельеф (рис. 2) в направлении, близком к перпендикуляру направлению главного движения деформирующего инструмента. Затем деталь подвергается обкатыванию с целью формирования гладкой рабочей поверхности. Деформирование должно осуществляться накатниками с жестко закрепленными роликами, выставленными на номинальный размер упрочняемой поверхности.

Степень и равномерность упрочнения при этом будут зависеть от параметров волнистого рельефа: шага P , высоты h и формы. Шаг рельефа при ППД не должен превышать 1 мм, а высота 0,5 мм. Чем больше высота рельефа, тем выше неравномерность упрочнения, однако при деформировании чрезмерно острого рельефа возможно образование складок - закатов. Наиболее целесообразной формой рельефа является треугольная с углом профиля 90° .

Резьба, шлицы, зубья и другие профили с волнистым рельефом на деталях могут быть нарезаны на станках с ЧПУ, при этом для управления параметрами рельефа желательно наличие жесткой кинематической связи между главным движением и движениями подачи. Сообщение инструменту радиальной и осевой подачи позволит обеспечить требуемую неравномерность упрочнения рабочих поверхностей резьб и профилей в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях.

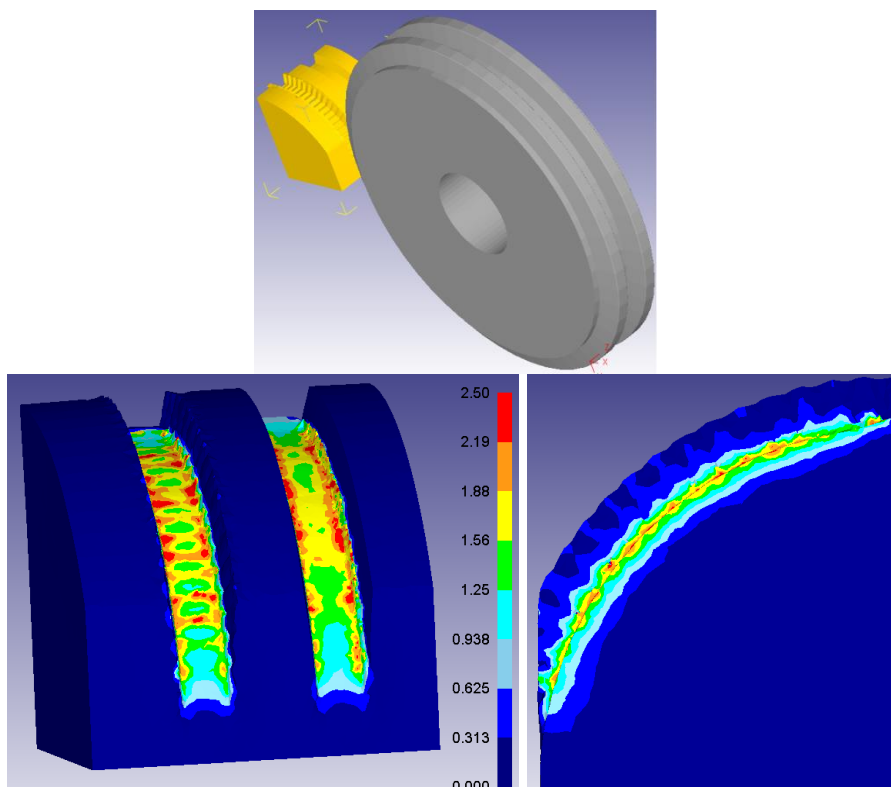


Рис. 2. - Эквивалентные деформации при ППД волнистого рельефа.

Результаты моделирования с помощью МКЭ режуще-деформирующей обработки ППД резьбовых канавок с волнистым рельефом шагом 0,5 мм и без него на заготовке из стали 45 приведены на рис. 2. Из приведенных полей деформаций можно сделать вывод о том, что максимальная глубина и степень упрочнения при ППД волнистого рельефа соответствует глубине и степени упрочнения при ППД гладких резьбовых канавок со статическим нагружением инструмента.

Таким образом, применение различных способов ППД позволяет в широких пределах варьировать степень, глубину и равномерность гетерогенного упрочнения резьб и профилей. СИО целесообразно для упрочнения крупных и жестких деталей, ППД волнистого рельефа - для длинных нежестких деталей. Разнообразие применяемых технологий позволит обеспечить повышение эксплуатационных характеристик всех основных видов деталей машин с резьбами, шлицами, зубьями и другими периодически повторяющимися профилями.

Список литературы

1. Киричек, А.В. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой [текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // СТИН. - 2007, №12. - С. 28-31.
2. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога [текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин // М.: Машиностроение, 2004. - 288 с.
3. Бушенин, Д.В. Сравнение твердости резьбовых профилей, полученных пластическим деформированием различными методами [текст] / Д.В. Бушенин, А.В. Киричек, А.Н. Афонин // Вестник машиностроения, 1999, №10. - С. 40-43.
4. Киричек, А.В. Исследование напряженно деформированного состояния резьбонакатного инструмента и заготовки методом конечных элементов [текст] / А.В. Киричек, А.Н. Афонин // СТИН. 2007, №7. - С. 21-25.
5. Афонин, А.Н. Гетерогенное упрочнение деталей горно-металлургических машин поверхностным пластическим деформированием [текст] / А.Н. Афонин, А.И. Ларин, А.В. Макаров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2015. Том 58. № 11. - С. 823 - 828.

05.02.04

А.П. Буйносов д-р. техн. наук, О.И. Ветлугина

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buynosov@mail.ru, OVetlugina@usurt.ru

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКОСА КОЛЕСНЫХ ПАР НА СНИЖЕНИЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА В КРИВОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-44-47

В статье рассмотрен перекося колесных пар относительно оси рельсового пути как один из факторов, влияющих на преждевременное истощение жизненного цикла бандажей электровозов.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, движение, путь, кривая, перекося, жизненный цикл, снижение, влияние.

Одним из факторов, влияющих на снижение жизненного цикла колесных пар электровозов, является их перекося непосредственно в самой раме тележки и относительно оси пути из-за интенсивного износа гребневой части бандажей. При перекося колесной пары в раме тележки электровоза износ бандажей располагается неравномерно [1]. На основе результатов проведенных исследований [2] были установлены три типа смещения колесных пар (δ_r) в раме двухосной тележки электровоза ВЛ10^у: одностороннее смещение середины колесных пар относительно оси тележки (рис. 1, а), перекося или смещение середины осей колесных пар в разные стороны относительно оси тележки (рис. 1, б), перекося, в результате которого колеса по отношению к колею расположены «утином», тележка становится «шальной» (рис. 1, в).

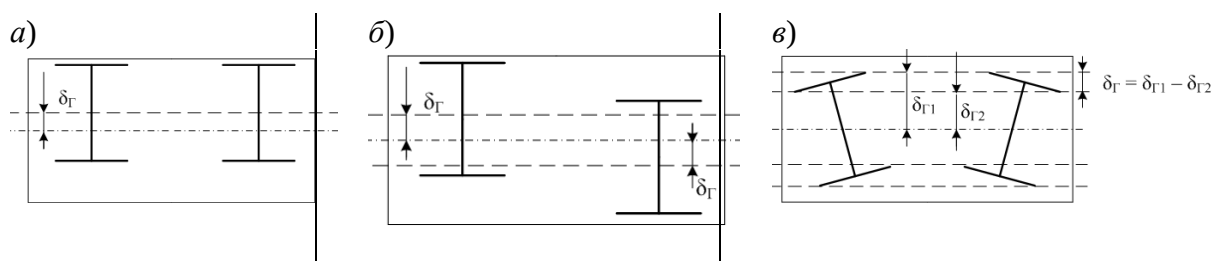


Рис. 1. Виды смещения колесных пар электровоза ВЛ10^у в двухосной тележке

Для оценки влияния перекося колесной пары относительно оси пути при движении электровоза в кривой является выбор и задание начальных расчетных положения тележки. В соответствии с расчетом по методу последовательных приближений [3], двухосная тележка электровоза может занимать в криволинейном участке пути разные положения, при этом отдельно взятая колесная пара (КП), в соответствии с рис. 2–4, может принимать положения от 1 до 6. На рис. 2–4 $x_{1нп}$, $x_{1су}$ и $x_{1хп}$ – расстояния от мгновенного полюса вращения (Ω) до первой по ходу движения колесной пары для различных положений тележки; Y'_1 , Y'_2 и Y''_2 – направляющие усилия в точках контакта бандажа и рельса.

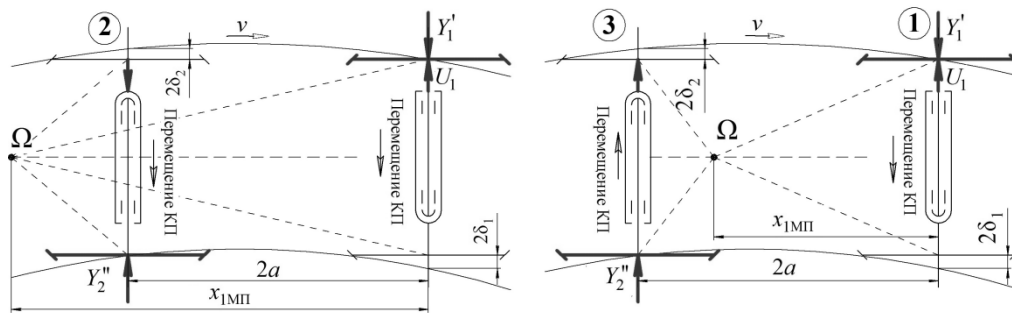


Рис. 2. Положения двухосной тележки при максимальном перекосе колесных пар при движении электровоза в криволинейном участке пути

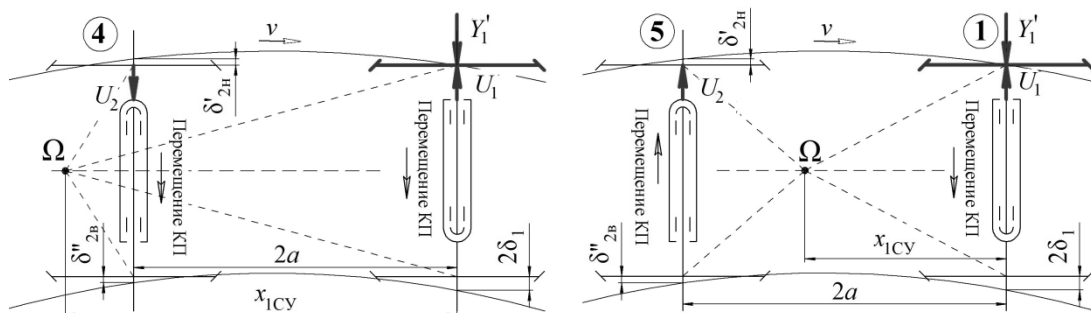


Рис. 3. Положения двухосной тележки при свободной установке колесных пар при движении электровоза в криволинейном участке пути

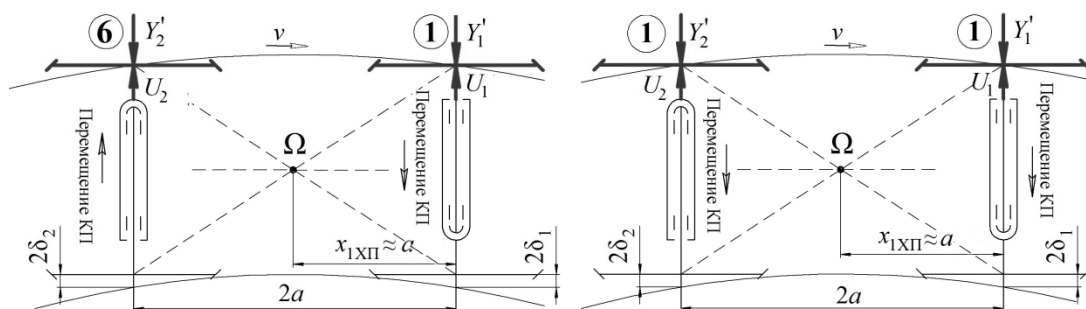


Рис. 4. Положения двухосной тележки при хордовом положении колесных пар при движении электровоза в криволинейном участке пути

Дадим пояснения по каждому из шести состояний: 1 – первая по ходу движения электровоза колесная пара гребнем бандажа, набегаящая на наружный рельс криволинейного участка пути, стремится «уйти» из колеи, но под влиянием направляющего усилия рельса Y_1' , она перемещается внутрь криволинейного участка. При этом усилие U_1 от рамы тележки направлено наружу [4]. Такое состояние наблюдается при максимальном перекосе, свободном и хордовом положениях; 2 – такое состояние колесной пары характерно для положения максимального перекоса тележки в криволинейном участке пути; 3 – состояние колесной пары характерно для положения максимального перекоса тележки в криволинейном участке пути; 4 и 5 – состояния колесной пары характерные для положения свободной установки тележки в кривой; 6 – состояние колесной пары наблюдается для хордового положения тележки в кривой.

Таким образом, двухосная тележка при движении электровоза в криволинейном участке пути из-за поперечного перемещения колесных пар в рельсовой колее на величину суммарного зазора между гребнями бандажей и внутренней гранью головки рельса ($2\delta_i$) имеет три состояния: максимальный перекос, свободная установка и может занимать хордовое положение.

Расстояние $x_{1МП}$ до мгновенного полюса вращения (Ω) до первой по ходу движения колесной пары электровоза определяется как:

$$x_{1МП} = \frac{2R(\delta'_1 + \delta''_2) + \delta_1'^2 - \delta_2''^2}{4a} + a.$$

Чем больше угол разворота колесной пары, тем сильнее давление гребня бандажа колесной пары электровоза на рельс, тем интенсивнее будет боковой износ рельса и гребневой части бандажа колесной пары электровоза, а значит, будет меньше площадь контакта бандажа с рельсом [5]. Графики изменения суммарной площади контакта (S_k) левого и правого бандажей электровоза приведены на рис. 5.

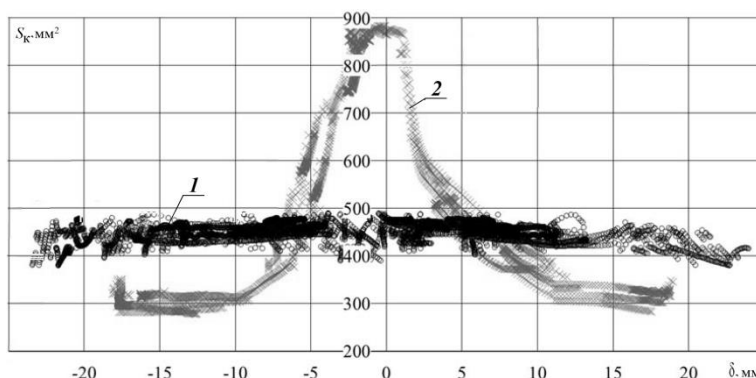


Рис. 5. Площади контакта бандажей колесной пары электровоза от ее поперечного положения в рельсовой колее:

- 1 — бандажи изношены, левый и правый рельсы — изношенные;
- 2 — бандажи изношены, левый и правый рельсы — новые

Моделирование выполнялось для новых и изношенных профилей, движение происходило в пределах S-образной кривой. Часть поверхности катания изношенной головки рельса очерчена линией переменного радиуса от 280 до 310 мм. Прокат на поверхности катания электровозного бандажа приблизился к допустимой величине 75 мм, вместо коничности крутизной 1:20 ближе к выкружке гребня сформировалась выпуклая кривизна радиусом 630–660 мм. Каждому положению колесной пары соответствует коридор значений площади, что объясняется непостоянством скорости и сил, передаваемых на колеса. При определении площади контакта между бандажом и рельсом должен учитываться комплекс особенностей контактирующих профилей, что требует сложного программирования и длительного времени вычислений.

Для определения геометрических параметров положения колесной пары при движении электровоза в криволинейном участке рельсовой колеи применена технология объектно-ориентированного программирования в среде Visual LISP, для обмена данными с Visual Basic for Applications при использовании интерфейса AutoCAD ActiveX Automation Interface. Программа позволяет исследовать контактирование бандажа колесной пары электровоза с рабочей поверхностью рельса и величину зазора между колесом и рельсом, определять величину и очертания площади в зоне их контакта. В основе работы программы лежат итерационные алгоритмы. Семейство положений колесной пары (см. рис. 2–4) формируется ее смещением в пределах зазора между гребнями бандажей колесной пары электровоза и внутренними гранями в рельсовой колее. Для крайних и промежуточных положений колесной пары рассчитывается ее смещение в рельсовой колее, наклон колесной пары и угол контакта колеса с рельсом, определяется очертание и контурная площадь контактной поверхности пары «колесо–рельс». На рис. 6, в качестве примера, приведены графики зависимости площади контакта (S_k) от зазора (δ).

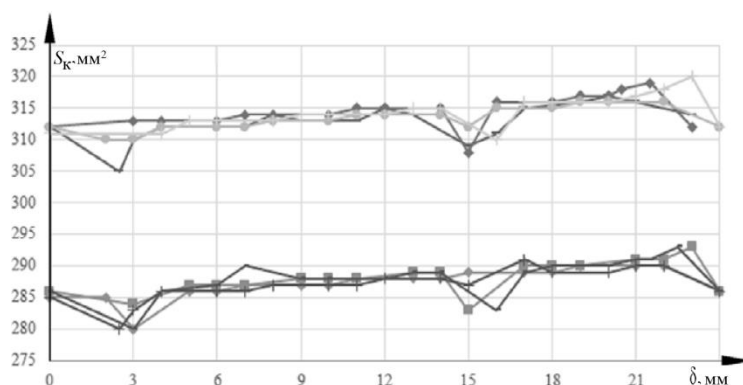


Рис. 6. Зависимость площади контакта на поверхности катания бандажа от зазора между гребнем и рельсом

Профиль бандажа – новый, рельс – изношенный. Площадь контакта на поверхности катания левого и правого бандажа колесной пары увеличивается при увеличении зазора. При контакте гребня бандажа (диаметр 1150 мм) с рельсом (при $\delta = 0$ мм) увеличение площади контакта пары «колесо–рельс» составляет 91–98 мм², а бандажа диаметром 1320 мм – 152–169 мм².

Плотное прилегание бандажа колесной пары к рельсу при вписывании электровоза в криволинейный участок пути является достаточным условием образования конформного контакта пары «колесо–рельс». Для окончательного заключения о влиянии перекоса колесных пар на снижение их жизненного цикла при движении электровоза в криволинейном участке пути необходимо дополнительно выполнить математическое и компьютерное моделирование.

Список литературы

1. Горский А.В., Буйносов А.П. Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46-47.
2. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
3. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Железнодорожный транспорт. 2010. № 9. С. 47-48.
4. Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки // Автоматизация и современные технологии. 1992. № 8. С. 23-25.
5. Цихалевский И.С., Ветлугина О.И., Кудаяров М.М. Определение оптимальных параметров технологического процесса ремонта тягового подвижного состава // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2011. № 4. С. 31-38.

05.02.13

В.Г. Жуков канд. техн. наук, Т.В. Рагимов

Сибирский Федеральный Университет, институт нефти и газа,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
Красноярск, tima-93box@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-48-51

В работе приведено описание мероприятий по повышению эффективности теплообменника компрессорных станций буровых установок. Методы решения обозначенной задачи состоят в поиске и численном исследовании методов интенсификации теплообмена во внутренней полости труб трубных пучков воздушных теплообменников компрессорных станций буровых установок.

Ключевые слова: *буровая установка, компрессорная станция, теплообменник воздушного охлаждения.*

Компрессорные станции буровых установок (КСБУ) воздушного типа являются источником питания пневматической системы дистанционного управления буровых установок 1 и 2 категорий. Для буровых установок нашли широкое применение КСБУ типа ДЭН-45ШМ и 4ВУ1- 5/9. Расположение составных частей установки ДЭН-45ШМ приведено на рисунке 1, а.

Система охлаждения компрессорной установки ДЭН-45ШМ включает воздушно-воздушный охладитель, воздухомасляный охладитель и вентилятор с дефлектором. Охладители типа В3097F изготовлены из алюминиевого сплава в едином блоке (рисунок 1, б) и установлены в верхней части КУ.

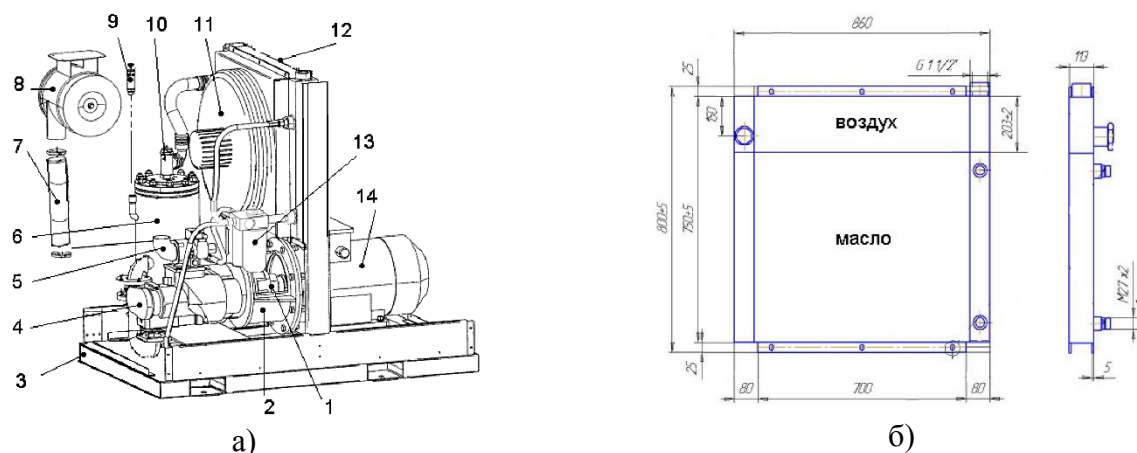


Рис. 1 - Компрессорная установка ДЭН-45ШМ

- а) состав установки: 1 - муфта; 2 - корпус муфты; 3 - рама; 4 - компрессор;
5 - клапан впускной; 6 - маслоотделитель; 7 - воздуховод гибкий; 8 - фильтр воздушный;
9 - клапан предохранительный; 10 - клапан минимального давления; 11 - вентилятор;
12 - блок охлаждения; 13 - фильтр масляный; 14 - электродвигатель приводной;
б) блок охлаждения В3097

При добыче нефти в отдаленных районах Западной Сибири и Крайнего Севера, теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) является единственным видом теплообменного оборудования, обеспечивающего надежное функционирование нефтедобывающего комплекса России независимо от условий окружающей среды и позволяющего размещать компрессорные станции вне связи с источниками пресной воды.

Для ТВО характерны сравнительно узкий диапазон изменения параметров ребер, труб, шагов разбивки их в решетках пучка, количества поперечных рядов труб, ограниченные перепады давления охлаждающего воздуха, значительные единичные аппаратные площади поверхности теплообмена, габариты, металлоемкость, что требует рекомендаций более высокой точности по сравнению с приводимыми в общих теплотехнических справочниках.

Учитывая растущую потребность в теплообменниках воздушного охлаждения нефтедобывающей промышленности Западной Сибири и Крайнего Севера, необходимость повышения их энергетической эффективности и эксплуатационной надежности, можно утверждать, что повышение эффективности теплообменников воздушного охлаждения КСБУ является актуальной научно-практической задачей.

Методы решения обозначенной задачи состоят в поиске и численном исследовании наиболее эффективных, технологически реализуемых и экономически обоснованных методов интенсификации теплообмена во внутренней полости труб трубных пучков воздушных теплообменников КСБУ. Конструктивные мероприятия по интенсификации теплообмена во внутренних полостях труб трубных пучков актуальны вследствие того, что, как показывает практика, коэффициенты теплоотдачи в этой области значительно ниже по сравнению с оребренной внешней поверхностью, а, следовательно, вносят основополагающий вклад в общее термическое сопротивление теплопередачи.

Для оценки конструктивной эффективности, в том числе и после проведения конструктивных мероприятий по интенсификации теплообмена, наиболее приемлемым показателем является коэффициент теплосъема, при этом тепловой поток ТВО через этот показатель определяется по зависимости [1]

$$Q = kF \Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_p - b \Delta t_1}{\frac{1}{kF} + \frac{a}{c_2 V}} = \varepsilon LB (\Delta t_p - b \Delta t_1), \quad (1)$$

где $\varepsilon = \frac{z f_1}{S_1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{az}{\varpi c_2 w_2}}$ - коэффициент теплосъема, равный тепловому потоку трубного

пучка, поверхность теплообмена которого ограничена фронтальным сечением 1 м^2 при располагаемом температурном напоре 1°C , $\Delta t_1 = 0$; a , b - температурный коэффициент,

$a = 0,5 + 0,2 \left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_p} \right)^2$; $b = 0,5 + 0,2 \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_p} \right)^2$ - температурные коэффициенты при перекрестном токе;

z - число поперечных рядов в трубном пучке; L - длина трубы трубного пучка, м; B - ширина трубного пучка аппарата, м; f_1 - площадь наружной поверхности 1 м оребренной трубы, $\text{м}^2/\text{м}$; S_1 - поперечный шаг пучка, м; k - коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; c_2 - удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$; ϖ - коэффициент омыывания поверхности потоком; w_2 - скорость теплоносителя, $\text{м}/\text{с}$; $\Delta t_p = t'_1 - t''_2$ - располагаемый температурный напор, $^\circ\text{C}$; t' , t'' , t - температура теплоносителя на входе, выходе, средняя, $^\circ\text{C}$.

Таким образом, в качестве константы, характеризующей эффективность трубного пучка ТВО КСБУ, учитывающей тепловые, температурные и геометрические параметры, можно

использовать коэффициент теплосъема $\varepsilon = \frac{Q}{\Delta t_p LB}$ при соблюдении трех условий $\Delta t_1 = 0$,

$\alpha_1 = \text{idem}$, $N/(LB) = \text{const}$.

В общем, для рассматриваемого случая, коэффициент теплосъема определяется по зависимости [2]

$$\varepsilon = \frac{\pi z \varphi \frac{d_0}{S_1}}{\frac{1}{\alpha_2} - \frac{\psi}{\alpha_1} + \frac{\psi \delta}{\lambda_c} + \frac{az}{\varpi c_2 w_2}}. \quad (2)$$

где d_0 - диаметр трубы у основания ребра, м; λ - коэффициент теплопроводности трубы, Вт/(м·К); δ - толщина стенки трубы, м; ψ - коэффициент увеличения внешней поверхности теплообмена; φ - коэффициент внешнего оребрения.

В формуле (2) учтены только показатели оребрения внешней поверхности теплообмена, в то время как ограничивающим фактором теплопередачи от внешнего воздуха к компрессорному воздуху, прокачиваемому внутри труб, выступают как раз внутренний коэффициент теплообмена, поиск путей увеличения которого является актуальной задачей, рассматриваемой в работе и количественный учет которого необходим для оценки эффективности планируемых конструктивных мероприятий.

С этой целью для оценки эффективности оребренной трубы, используемой в качестве поверхности теплообмена после реализации предлагаемых конструктивных мероприятий по интенсификации теплообмена предлагается ввести:

- коэффициент внутреннего оребрения φ_2 ;
- коэффициент увеличения внутренней поверхности теплообмена

$$\psi_2 = \varphi_2 \frac{F_{02}}{F_2}, \quad (3)$$

где F_{02} - площадь гладкой внутренней поверхности теплообмена трубы трубного пучка у основания;

F_2 - площади внутренней поверхностей теплообмена труб трубного пучка, полученная в результате конструктивных мероприятий по интенсификации теплообмена.

В этом случае новая формула, учитывающая влияние конструктивных (φ , ψ , d_0), компоновочных (z , ω , S_1) и эксплуатационных параметров (α_1 , α_2 , w_2) на коэффициенты теплосъема будет иметь следующий вид

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot z \cdot \varphi \cdot \varphi_2 \cdot \frac{d_0}{S_1}}{\frac{\psi_2 - \psi}{\alpha_2} + \frac{\psi \delta}{\alpha_1 \lambda_c} + \frac{az}{\pi c_2 w_2}}. \quad (4)$$

где φ - коэффициент оребрения трубы; d_0 - диаметр трубы у основания ребра, м; ψ_1 - коэффициент увеличения поверхности теплоотдачи; λ - коэффициент теплопроводности трубы, Вт/(м·К); δ - толщина стенки трубы, м.

В качестве мероприятий по изменению конструктивной части внутренней полости трубного пучка с целью интенсификации теплообмена применяем ленточный завихритель, в частности [4].

Способ интенсификации теплообмена	Относительная длина канала	Диапазон чисел Re	Среда	Результирующее уравнение для определения коэффициента теплоотдачи во внутренней полости трубы трубного пучка α_2
Ленточный завихритель ($2,5 < d_1/S < 11$)	20S	160-5000	Воздух	$Nu_1 = 0,3 \cdot Re_1^{0,6} \cdot Pr_1^{0,43} \left(\frac{S}{d_1} \right)^{0,125} \quad (5)$ (обработка В.К. Щукина)

В (5) приняты следующие обозначения: S - шаг между вершинами ленточного завихрителя, м; d_1 - внутренний диаметр трубы, м; Nu_1 - безразмерный критерий теплового подобия (безразмерный коэффициент теплообмена) внутри трубы; Re_1 и Pr_1 - безразмерные критерии гидродинамического и подобия рабочих тел внутри трубы, соответственно.

Численное сравнение коэффициента теплосъема, рассчитанного с использованием коэффициента теплообмена, вычисленного по традиционной формуле $Nu_1 = 0,232 C_s C_\varphi Re_1^{0,522}$, где C_s - поправка на теплоотдачу в пучках с компоновкой труб, отличающейся от равносторонней; C_φ - поправка на коэффициент оребрения и формуле (2) и коэффициента

теплосъема, вычисленного по формуле (3) с использованием коэффициента теплообмена, вычисленного по формуле (4), свидетельствует о более 30% росте значения коэффициента теплосъема при использовании ленточного завихрителя.

При этом конструкция и технология мероприятий по интенсификации теплообмена посредством ленточного завихрителя, как показывает практика, достаточно просты, по сравнению с другими мероприятиями.

Таким образом, был проведен численный анализ параметров воздушной секции охладителя типа В3097FKСБУ ДЕН-45ШМ, теплорассеивающая мощность которой составляет 12,29 кВт. Результаты теплового расчета воздушной секции охладителя типа В3097FKСБУ ДЕН-45ШМ при предлагаемом подходе к интенсификации теплообмена показали, что мощность теплового рассеивания превосходит существующую в 1,33 раза.

Список литературы

1. Мартыненко О.Г. Справочник по теплообменникам. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т. 1. Пер. с англ. под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 560с.
2. Бессонный А.Н., Дрейцер Г.Л., Кунтыш В.Б. и др. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. Справочник / Под общ.ред. В.Б. Кунтыша. А.Н. Бессонного. - СПб.: Недра, 1996. - 512 с.
3. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты ребренных теплообменников воздушного охлаждения. - СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург.отд-ние, 1992. - 280 с.
4. Koch R. Druckverlust und Wärmeübergang bei verwirbelter Strömung // VDI. Forschungsheft. - 1958. - Bd. 24. - P. 52-60.

05.02.22

С.В. Зинченко, А.Ф. Тихонов канд. техн. наук

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Саранск, et@mgsu.ru

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ДВУХСТАДИЙНЫМ ПРОЦЕССОМ ДРОБЛЕНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-52-56

В статье рассмотрены основные принципы организации управления технологическим дробильно-сортировочным оборудованием, позволяющие непрерывно обеспечить производство строительных смесей фракционированным заполнителем в заданном соотношении для производства строительных смесей. Приведены регулировочные зерновые характеристики, позволяющие теоретически обосновать параметры управления исполнительными механизмами, позволяющие получить заданное соотношение фракций щебня в соответствии с рецептом смеси, определяемым ГОСТ 9128-96, Установлен новый принцип управления соотношением фракций щебня за счет регулирования потока сверхмерного материала (>40мм) с применением управляемого многопозиционного шиберов для переработки в двух дробилках с различными зерновыми характеристиками.

Ключевые слова: Технологический процесс дробления, щековые и конусные дробилки, фракционированный заполнитель в заданном соотношении, зерновые характеристики, управляемый шибер, управляющие воздействия, система управления, разгрузочные отверстия дробилок.

Непрерывный способ производства фракций крупного заполнителя в заданном соотношении при производстве строительных смесей обеспечивает снижение затрат капитальных и эксплуатационных и улучшение качества смеси. Поэтому непрерывный технологический процесс получения этого заполнителя (то есть – дробление) должен быть определенным образом организован и обладать, взаимосвязями между элементами и способом их совместного функционирования. [1].

Разработка непрерывного управляемого технологического процесса дробления должна быть подчинена достижению глобального критерия всей системы в виде заданного по ГОСТу фракционированного состава крупного заполнителя (рецепта), независимо от изменения свойств исходного материала. В соответствии с этим необходимо обоснование рациональной технологической схемы дробления, типов дробилок и их расстановки, наиболее эффективных параметров управления.

Локальные системы управления на существующих дробилках обеспечивают, как правило, стабилизацию расхода дробленого заполнителя или поддержание максимального выхода наиболее дефицитной фракции заполнителя (обычно 5-15 мм или 10-20 мм). [3]. Системы аварийной автоматики обеспечивают прерывание при перегрузке силового привода или переполнении материалом камеры дробления [1].

Дробилка как объект регулирования располагает следующими основными управляющими воздействиями, влияющими на выходное соотношение фракций щебня: размер разгрузочного отверстия (РОД) и степень загрузки камеры дробления. При объединении нескольких дробилок в технологическую схему появляются дополнительные способы управления: перераспределение потока материала между дробилками с различными характеристиками зернового состава, изменение загрузки более крупными фракциями за счет организации рецикла.

Необходимо оценить различные схемы дробления с позиций выполнения глобального критерия – получения заданного соотношения фракции заполнителя. Так как для каждой схемы дробления существуют предельная область возможного изменения рецепта – область определения рецепта, в пределах которой возможно управление с помощью изменения разгрузочного отверстия дробилки, степени загрузки дробилки, организации работы в замкнутом цикле.

Если обозначить суммарный выход фракции щебня на j -ой дробилке:

$$\gamma_j = \gamma_{j1} + \gamma_{j2} + \gamma_{j3} + \gamma_{j4},$$

где γ_{j4} – доля сверхмерного щебня, γ_{ji} – доля i -ой фракции на выходе j -ой дробилки от входящего в нее потока, то рецепт представляется тремя компонентами $[R_{j1}, R_{j2}, R_{j3}]$:

$$R_{j1} = \gamma_{j1} \cdot \gamma_j^{-1}, R_{j2} = \gamma_{j2} \cdot \gamma_j^{-1}, R_{j3} = \gamma_{j3} \cdot \gamma_j^{-1}, R_{j1} + R_{j2} + R_{j3} = \sum_{i=1}^3 R_{ji} = 1 \quad (1)$$

Как правило, зерновые характеристики отдельных дробилок и технологических схем дробления представляются в виде зависимостей выхода отдельных фракций от основного регулирующего воздействия – величины разгрузочного отверстия. Эти характеристики дают возможность оценить только тенденции в изменении фракционного состава дробленого щебня и не указывают область назначения и границы изменения рецепта строительной смеси (бетонной или асфальтобетонной) [2].

Практика дробления показывает, что к различным управлениям менее всего чувствительно изменение процентного содержания в дробленом щебне средних фракций. Разделим долевые содержания рецепта (1) на R_{j2} и получим его выражение в нормированном виде:

$$[\gamma_{j1}/\gamma_{j2}; 1; \gamma_{j3}/\gamma_{j2}] \quad (2)$$

Формула (2) позволяет изображать рецепт в виде кривой (регулировочной характеристики), связывающей относительные безмерные величины γ_{j1}/γ_{j2} и γ_{j3}/γ_{j2} при выбранных управляющих параметрах: $S_{щ}$, S_k – размер РОД щековой и конусной дробилок.

Такое представление области определения рецепта фиксирует не только ее линейные размеры, но и физические ограничения реализации рецепта. На рис.1 представлены зависимости $\gamma_{j1}/\gamma_{j2} = f(\gamma_{j3}/\gamma_{j2})$ щековой и конусной дробилок, работающих в прямом цикле. По форме этих регулировочных характеристик можно судить об эффективности оперативного управления. Из рис. 1. видно, что назначение рецепта не может осуществляться произвольно и для выбранного типа дробилки существуют предельные соотношения отдельных фракций, образующих рецепт.

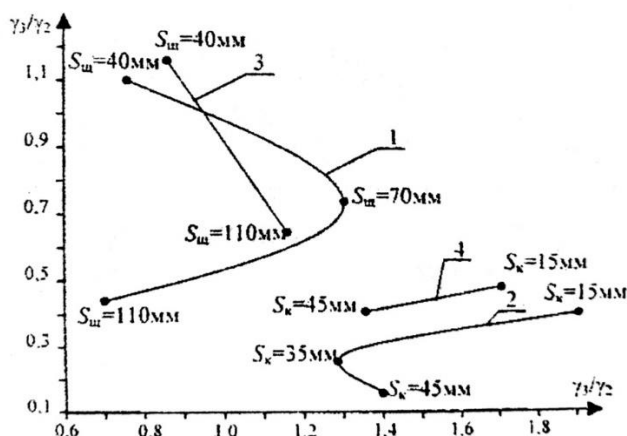


Рис.1. Регулировочные характеристики дробилок: 1 – щековой в прямом цикле, 2 – конусной в прямом цикле, 3 – щековой в замкнутом цикле, 4 – конусной в замкнутом цикле.

Как правило, в технологии дробления используются дробилки, работающие в замкнутом цикле, когда сверхмерный щебень возвращается на додробливание. На рис 1. изображены характеристики 3 и 4 щековой и конусной дробилок в одностадийном процессе дробления замкнутого цикла (цифры указывают размеры РОД). Области возможных рецептов существенно сузились. Это показывает, что с введением рецикла рецепт становится малочувствительным к внешним возмущениям, а смещение при этом характеристик $\gamma_{j1}/\gamma_{j2} = f(\gamma_{j3}/\gamma_{j2})$ – незначительным. Поэтому полная стабилизация рецепта у отдельных дробилок за счет регулирования только РОД не обеспечивает заданное соотношение крупных заполнителей.

Вопрос о возможности стабилизации рецепта осложняется оценкой влияния возмущающих воздействий на вид регулировочных характеристик отдельных дробилок и областью определения рецепта всей схемы. Возмущения в виде изменения прочности и крупности каменного материала смещают регулировочные характеристики (РХ) на плоскости $\gamma_{j1}/\gamma_{j2}(\gamma_{j3}/\gamma_{j2})$. Их возврат в исходное положение регулированием РОД отдельной дробилки невозможен, в этом случае удастся поддерживать только одно из соотношений γ_{j1}/γ_{j2} или γ_{j3}/γ_{j2} .

Параллельное включение разнотипных дробилок позволяет сделать управление рецептом более эффективным. Смещение РХ у одной из дробилок можно компенсировать изменением РОД другой. Однако, из-за разных наклонов РХ это возможно только для небольших отклонений компонентов рецепта. Воздействия более сильных возмущений, существенно влияющих на рецепт, компенсируются перераспределением потока материала между дробилками с помощью изменения положения заслонки распределительного шибера. Кроме того, регулированием положения заслонки φ в диапазоне: $B = 0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0$, а, следовательно, и коэффициента перераспределения φ (рис.2), можно добиться существенного расширения области возможных рецептов.

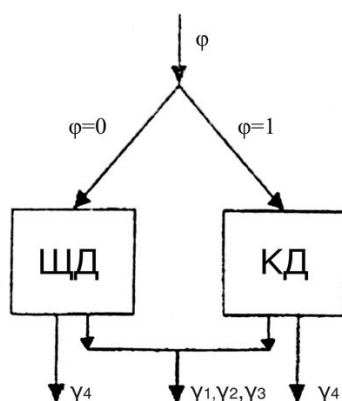


Рис.2. Схема параллельного включения щековой (ЩД) и конусной (КД) дробилок в прямом цикле с применением шибера.

Важным звеном при разработке основных принципов организации управления технологией дробления является определение управляющих воздействий (УВ) на основе регулировочных зерновых характеристик (Рис.1.) и изменения их параметров, позволяющих обеспечить заданное по рецепту смеси соотношение фракционированного заполнителя. Изменение размера РОД на первичном дроблении меняет соотношение фракций между собой и увеличивает или уменьшает выход всех фракций одновременно. Эффективным УВк на изменение соотношения фракций является подача в регулируемом объеме сверхмерного материала ($>40\text{мм}$) в дробилки с различными по соотношению фракций заполнителя характеристиками зернового состава. Для обеспечения этой программы предусмотрен шибер (рис.3). В корпусе смонтирован делитель, который распределяет поток в определенном объеме. Делитель перемещается от электровинтового привода, соединенного через редуктор с электродвигателем. Фиксирование положения заслонки делителя производится датчиками.

Сверхмерный щебень в регулируемом объеме распределяется в дробилки $D_{ш}$ и $D_{к.}$, которые имеют различные по способу дробления зерновые характеристики. Выход отдельных фракций заполнителя в замкнутой системе дробления с разложением на циклы составит:

$$\gamma_{dzi} = [\gamma_{пzi} \cdot (1 + \sum_1^n q_{23}^n)] \cdot \left(0,5 - \frac{r}{B} \cdot \sin \alpha\right) + [\gamma_{п4i} \cdot (1 + \sum_1^n q_{24}^n)] \cdot \left(0,5 + \frac{r}{B} \cdot \sin \alpha\right)^k, \quad (3)$$

где $\gamma_{п31}, \gamma_{п32}, \gamma_{п42}, \gamma_{п33}, \gamma_{п43}$ – выход фракций заполнителя в прямом цикле у вторичных дробилок: последние цифры – номер фракции, первые – номер дробилки, от которой она получена; q_{23}, q_{24} – выход сверхмерного материала от вторичных дробилок.

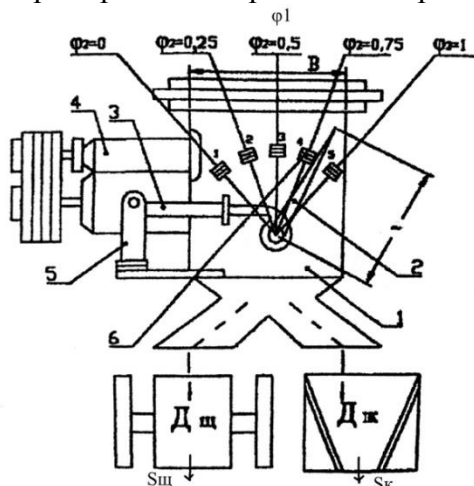


Рис.3. Шибер регулирования потока заполнителя для переработки дробилками с различными характеристиками зернового состава

1-корпус; 2-делитель; 3-цилиндр; 4-электродвигатель; 5 – редуктор; 6 – бесконтактные датчики положения заслонки шибер.

Режим секционированной подачи адекватен параллельной работе двух дробилок разных типов переменной производительности. При этом, чем мельче исходный материал, тем равномернее он распределяется по секциям, в результате происходит наложение зерновых характеристик, которые значительно расширяют свои функциональные возможности по решению главной задачи - обеспечение заданного соотношения фракций крупного заполнителя путем изменения РОД ($S_{ш}, S_{к}$) дробилок $D_{ш}$ и $D_{к}$ и регулирования положения заслонки шибер в диапазоне $B = 0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0$. В результате методом наложения зерновых характеристик дробилок с различными физико-механическими способами дробления исходных каменных материалов получена обобщенная суммарная характеристика (Рис.4), которая позволяет существенно изменять соотношение фракций в диапазоне: $\gamma_i =$ от 10 до 55 %. (Рис. 4), что обеспечивает заданное соотношение фракций.

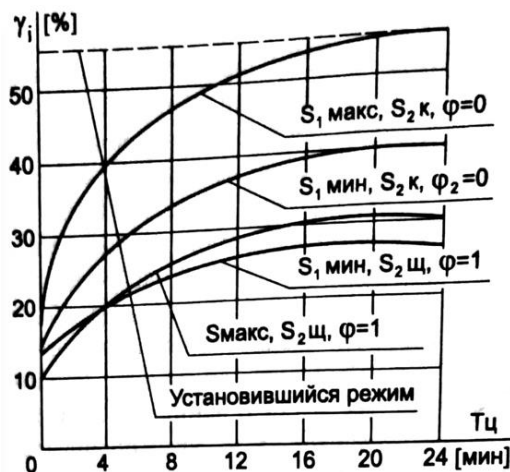


Рис. 4. Графики выхода ФЦ в двухстадийном технологическом процессе дробления замкнутого цикла

Зерновые характеристики, (рис 1, рис 4) позволяют установить наиболее оптимальные управляющие воздействия УВк: УВ(Q_1) – регулирование производительности первичной загрузки; УВ(S_1), УВ(S_3), УВ(S_4) – изменение размера разгрузочного отверстия соответственно у первичной щековой дробилки, вторичной конусной и щековой дробилок; УВ (V_2) – регулирование окружной скорости вращения бил ротора у первичной роторной дробилки; φ_2 – регулирование объема переработки сверхмерного материала ($>40\text{мм}$) на вторичном дроблении шибера φ_1 – регулирование объема Q_1 перерабатываемого исходного материала на первичном дроблении. Многообразие управляющих воздействий, каждый из которых по определенной зависимости влияют на регулируемые параметры γ_1 , γ_2 и γ_3 и с учетом временных факторов транспортного запаздывания в технологической линии создают достаточно сложную динамическую систему автоматического управления технологическим процессом дробления. Решение этой задачи существенно облегчает математическая модель, которая позволяет оперативно определить поиск оптимальных настроечных параметров, обеспечивающих непрерывное получение заданного соотношения фракций заполнителя по различным рецептам строительных смесей.

Список литературы

1. Кальгин А.А., Камалетдинов А.В. Оценка эффективности дробления каменных материалов с использованием нормированного рецепта // Изв. ВУЗов «Строительство», 2001, №7, с. 59-63.
2. Кальгин А.А. Камалетдинов А.В. Управление дробильными агрегатами при приготовлении заполнителя по заданному рецепту // Механизация строительства, 2001, №8, с. 22-24.
3. Тихонов А.Ф., Абдулханова М.Ю., Золотарев С.Ю. Особенности вариаций нормированного рецепта в двухстадийной схеме дробления. Сборник научных трудов. НТК «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в строительстве», М. МГСУ, 2002, с. 20-24./

05.02.22

А.А. Морозенко д-р техн. наук, Д.В. Красовский

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), кафедра строительства объектов тепловой и атомной энергетики, Москва, morozenkoAA@mgsu.ru

ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ КЛЮЧЕВЫХ СОБЫТИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-57-59

В статье представлена зависимость реализации задач проекта от действий взаимосвязанных элементов системы проекта. Рассмотрен процесс перехода от одного события проекта к другому. Определена система соответствия области технологических задач проекта и организационной структуры, используемой в проекте, что в свою очередь является необходимым условием гармоничного функционирования исполнительной подсистемы проекта. Рассмотрена связь технологической работы и организационной структуры через выстраиваемые взаимосвязи между ответственными элементами в структуре проекта. Предложена логико-математическая функция реализации взаимодействий.

Ключевые слова: *Управление строительными проектами, инвестиционно-строительный проект, матрица ключевых событий, взаимодействия в организационной структуре, информационная модель, конфигурация задач.*

Реализация этапов любого инвестиционно-строительного проекта зависит от действий элементов системы проекта. Этими действиями определяется выполнение необходимых работ, определённых в соответствии с поставленными задачами – процесс функционирования системы [1]. В свою очередь действия и выполняемая работа каждого элемента не может осуществляться независимо от всей исполнительной подсистемы в целом. Сочетания действий элементов на границах ответственных участков работ определяет необходимость взаимодействий в системе для успешного функционирования. Выстраивание организационно-технологической системы проекта основывается на предложенной ранее матрице ключевых событий [2]. Матрица реализации проекта наиболее точно отражает задачи всех участников проекта для достижения события, что определяет требования к организационной структуре.

Взаимодействие – процесс передачи и анализ информации о предмете взаимодействия – о информации, материалах, ресурсах, документах, принятых решениях и всех процессах, связанных с проектом, важных с точки зрения взаимодействующих элементов. Возможности взаимодействий элементов в организационной структуре проекта характеризует потенциал управляющих решений в условиях инвестиционно-строительного проекта.

Тактика взаимодействия разрабатывается информационно-аналитическим блоком проекта по запросу исполнительных элементов системы [3]. Это неразрывно связано с необходимостью наличия информационно-аналитического аппарата, способного обрабатывать массив входящих запросов участников проекта и производить расчёт сетевых процессов выполнения взаимодействий, при этом представляя данную информацию в доступном графическом виде – интерфейсе программного обеспечения. Исполнителям предлагаются адаптивные пути решений возникающих ситуаций с учётом развития возмущающего воздействия во всём проекте.

Информационная модель призвана работать с участниками проекта и их действиями, связывая их между собой. При этом уровень детализации может быть различным: от масштаба отдельного предприятия до структурных подразделений этих предприятий и конкретных исполнителей. Это определяется принятой декомпозицией проекта [2] по управлению участвующими элементами и основывается на возможностях информационной модели эффективно рассчитывать задачи для управляемых процессов взаимодействий участников. Так как задача по конкретизации действий элементов в системе связана с различными функциональными направлениями проекта, с различной функциональной загруженностью [4], то необходимо соблюдать соответствие возможностей взаимодействующих элементов. Задача гармонизации процессов взаимодействий элементов на основе собственных задач и возможностей элементов приводит к необходимости построения информационных моделей процессов взаимодействий. Различные планируемые ситуации в проекте, возможные риски и требования по реализации, определяют наличие обязательных взаимодействий между участниками по различным функциональным направлениям в различные моменты времени. Составляющие элементы строительной системы в информационной модели проекта потенциально образуют различные сценарии развития проекта по времени, ресурсам и затратам участников. Действия и взаимодействия элементов системы должны обеспечивать заданные параметры выполнения работ для ключевых событий проекта. Из-за чего в ходе проекта возникает необходимость проверки не только выполнения и координирования сетевой модели реализации проекта, но и контроль выполнения модели действий и взаимодействий элементов.

Стоит выделить понятие, которое определяет не только собственную функциональную задачу структурного элемента проекта, но и задачи для выполнения процессов взаимодействий с другими элементами проекта. Конфигурация задач – определённый уровень детализированной достоверной информации о состоянии системы и взаимодействиях её элементов по выполняемым задачам. Таким образом, определяется достаточный объём данных о ходе выполняемых задач: требуемый для этого набор элементов и взаимодействия элементов системы между собой. Данное понятие объединяет функциональную задачу элемента и требования к этому элементу со стороны смежных функциональных элементов проекта для достижения поставленных целей. Появляется необходимость построения логической цепочки последовательных действий участниками проекта.

Формулы математической логики [5, 6] дают описания параметров взаимодействий, а также их свойств. Функция логического предиката m аргументов $P(g_1, \dots, g_m)$ формирует логические утверждения о взаимодействиях выраженными n элементами $x_1, \dots, x_n$. Функция $g_m(x_1, \dots, x_n)$ – определяет условия выполнения взаимодействия. Данная функция определена на множестве взаимодействий ($M = M_1 \times \dots \times M_m$) и на множестве элементов системы ($N = N_1 \times \dots \times N_n$). При подстановке значений переменных формируются необходимы задачи элементов.

Описание двух взаимодействующих элементов А и В и выполняемых двухсторонних взаимодействий АВ и ВА в информационной модели выражено логической функцией $g(A, B)$. Целью данной функции является предоставить логический алгоритм взаимодействий двух элементов А и В в организационной структуре на основе технологического события для определения эффективного протокола формирования организационной структуры, отвечающей на данном этапе задачам проекта.

По предлагаемой методике необходимо рассматривать достижение результата как событие в матрице проекта. Ответственному элементу (А) до начал всех работ необходимо выработать план определённых взаимодействий, отвечающих функциональным параметрам взаимодействий. Элемент А взаимодействует с элементом В на основе предмета взаимодействия, определяющего функциональные свойства. $A \rightarrow B$, $B \rightarrow A$, $B \leftarrow A$, $A \leftarrow B$ – высказывания о входящих или исходящих взаимодействиях. Взаимодействие АВ выражено функцией:

$$g_{AB}(A, B) = ((A \rightarrow B \vee B \leftarrow A) \wedge (AB)) \sim (A \rightarrow B \vee B \leftarrow A)$$

Для свершения события необходимо множество направленных взаимодействий (M_m) на множестве элементов (N_n). Таким образом, для описания взаимодействующих элементов А и В и взаимодействий АВ и ВА логическая функция $g(A, B)$ будет выражена:

$$g(A, B) = (((A \rightarrow B \vee B \leftarrow A) \wedge (AB)) \sim (A \rightarrow B \vee B \leftarrow A)) \wedge (((B \rightarrow A \vee A \leftarrow B) \wedge (BA)) \sim (B \rightarrow A \vee A \leftarrow B))$$

Методом перебора всех возможных вариантов состояние системы взаимодействия двух элементов даст 2^n вариантов, где n – значение количественных параметров функции, исходных для расчёта системы. Значение истины для функции $g(A, B)$ определяет выполнение условий перехода от события i к событию j , которые зависят от элементов А и В.

Данные подходы к выработке решения основаны на информационном анализе системы логических взаимосвязей и автоматически сформированных вариантах решений при заданных условиях.

Предлагаемая методика управления взаимодействиями в организационной структуре на основе матрицы ключевых событий основывается на выполнении задач по 4 категориям: технологический процесс, идентификация взаимодействий на основе матрицы технологических событий, наполнение информационной модели программы строительства и непосредственно формирование организационной структуры.

Список литературы

1. Кретов С. И. Проблемы управления экономикой в свете теории сложности // Управленческие науки, № 1 (14), 2015. С. 6-17.
2. Морозенко А.А., Красовский Д.В. Управление инвестиционно-строительными проектами на основе матрицы ключевых событий // Вестник МГСУ, № 11, 2016. С. 105-113.
3. Морозенко А.А., Красовский Д.В. Матрица инвестиционно-строительного проекта с элементами строительного программирования // Научно-технический вестник Поволжья, № 6, 2017. С. 124-128.
4. Морозенко А.А., Красовский Д.В. Устранение недостатков календарно-сетевого планирования путем применения матрицы ключевых событий проекта // Вестник МГСУ, № 12 №6 (105), 2017. С. 674-679.
5. Агарева О. Ю., Селиванов Ю. В. Математическая логика и теория алгоритмов [Текст] : учеб. пособие. М. : МАТИ. 2011. 80 с.
6. Гуц А.К. Математическая логика и теория алгоритмов. М.: Либроком, 2009. 120 с.

05.02.13

С.В. Прохоров канд. техн. наук

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
институт архитектуры, строительства и энергетики, кафедра строительного производства,
Владимир, oc204@bk.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-60-62

С развитием человечества эволюционировали и строительные технологии, орудия труда, машины и механизмы. Современные темпы развития экономики предъявляют повышенные требования к скорости строительства, его качеству, а также снижению трудоемкости выполнения работ. Целью исследований являлось определение областей строительства, в которых целесообразно заменить ручной труд, а также разработка рекомендаций для строительных компаний по внедрению средств механизации и автоматизации в свое производство.

Ключевые слова: *строительство, автоматизация, беспилотные летающие аппараты, организация строительства, энергоэффективность.*

Современное строительное производство - это большой взаимосвязанный комплекс различных подразделений, от слаженной работы которых, зависит эффективность строительства в целом. С развитием электроники, робототехники и технологий виртуальной реальности существенно расширились границы прикладного использования современных машинных комплексов. [1,2]

На начальном этапе возведения любого строительного объекта проводятся инженерные изыскания и топографическая съемка местности, результатом которых является исполнительная съемка. Эти работы обладают большой трудоемкостью особенно при большой территории строительной площадки. Беспилотные летательные аппараты идеально подходят для проведения быстрых изысканий на площадке, с целью сбора точных данных для отчетов о ходе реализации проекта, а также оперативно контролировать процесс производства работ и вносить необходимые поправки в организацию строительства. [3,4,5]

Вторым этапом строительства является непосредственная реализация проекта, т.е. возведение здания или сооружения. Многие процессы на строительной площадке выполняются вручную, а это не отвечает современным требованиям к уровню строительного производства и темпам реализации проектов. Необходимо, по возможности, переводить традиционные ручные работы в автоматизированные процессы. Применение для выполнения земляных работ бульдозеров и экскаваторов оборудованных системой SiteLink3D компании Topcon, позволяет снизить количество технологических операций, что приводит к повышению производительности, сокращению времени работы машины, а значит, повышает ресурс до ремонта и ТО.[6,7] Переход от систем 1D –позиционирования к системам 2D и 3D позиционирования, позволяет с высокой степенью точности реализовывать на строительной площадке цифровую (проектную) модель создаваемой поверхности. Подобные решения позволяют не только повысить качество выполняемых работ, но и осуществлять комплексное управление строительными работами на участке - контролировать работу персонала, поступление данных, работу устройств и машин - независимо от того, где они находятся. [8]

Неотъемлемой частью возведения объекта, является контроль за соблюдением проектных решений. В строительстве установлены три вида надзора: авторский, технический и государственный. Коммерческие и пользовательские модели дронов сегодня с легкостью могут облететь область строительства и оперативно продемонстрировать ход строительства на картах с высоким разрешением и на трехмерных моделях, что является очень эффективным решением оперативного контроля и организации строительно-монтажных работ. [9]

Помимо применения дронов для контроля за строительством компанией Dohel был представлен робот, оборудованный лидаром для контроля строительства. Робот может сопоставлять темпы строительства, проверять корректность установки конструкций с проектом.

Использование современных программных продуктов и средств механизации требует большего времени и уровня квалификации исполнителей. Кроме этого, приходится сталкиваться с нежеланием опытных рабочих осваивать новые методы и системы. Лучше всего для этого подходят выпускники, которые недавно окончили ВУЗ, но при этом имеют уже определенный опыт. Однако начальные временные затраты на построение полноценной 3D –модели компенсируются сокращением продолжительности выполнения и контроля работ.

Эффективность принятых решений может оцениваться как уровень конкурентоспособности строительной организации, т.е. отношением средней цены предложения на рынке (P_{av}) к внутренней цене организации (P_{out}):

$$k = \frac{P_{av}}{P_{out}} \quad (1)$$

Совокупные затраты на производство работ можно определить по формуле:

$$Z_{ud} = S * \left(1 + \frac{F}{V} * \frac{r}{100}\right) + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{T_i}, \text{ руб.} \quad (2)$$

S – себестоимость выполнения работ, руб.; F – среднегодовая стоимость основных производственных фондов и оборотных средств; V – годовой оборот строительной организации; r – внутренняя норма рентабельности капитала; S_i – годовые затраты на содержание и эксплуатацию i -й машины; T_i – расчетный оставшийся срок эксплуатации i -й машины; n – количество машин данного типа.

Определение затрат энергоресурсов на выполнение работ комплектом строительной техники производим по формуле:

$$S_i = \sum_{i=1}^n E_i * K_{pi} * S_{ex}, \text{ руб.} \quad (3)$$

где E_i – норма потребления энергоресурсов; K_{pi} – коэффициент загрузки силового оборудования; S_{ex} – средневзвешенная стоимость энергоресурса

При анализе эффективности применяемых решений необходимо учитывать и эффект от сокращения продолжительности строительства определяется по формуле:

$$D = \varepsilon_n * (k_n * t_n - k_p * t_p) \quad (4)$$

где ε_n – нормативный коэффициент эффективности инвестиций, k_n и k_p – средние за период строительства размеры капитальных вложений в возведение объекта по нормам и по проекту; t_n и t_p – продолжительность строительства соответственно по нормам и по проекту, годы.

Для работ, где применяются системы автоматизация обеспечивается улучшение использования рабочего времени, сокращение его потерь и в конечном счете рост производительности труда рабочих. Рост производительности труда при снижении внутрисменных потерь рабочего времени можно определить по формуле:

$$W = \left(\frac{100 - q_{n2}}{100 - q_{n1}} - 1 \right) * 100 \quad (5)$$

где W – рост производительности труда, %; q_{n1} и q_{n2} – потери рабочего времени до и после осуществления мероприятий, %.

Сокращение трудовых затрат, обусловленное ростом производительности труда, определяется как,

$$D_w = q_s \cdot \frac{w}{100+w} \quad (6)$$

где q_s – трудовые затраты на возведение объекта по сметным нормам, принимаются по локальной смете в чел.-ч.

На основе сравнения совокупных затрат по различным вариантам машинных парков и методов производства работ возможно комплектование и оперативное управление строительной организацией.

Выводы.

В процессе анализа можно сделать выводы, что по сравнению с традиционными методами применением средств автоматизации приводит к удорожанию и увеличению трудоемкости подготовительных работ. Это связано с необходимостью обучения персонала и усложнением проектирования, но в результате наглядности 3D-модели и интегрированных расчетных программных комплексов сокращается время на согласование и производство работ.

Кроме этого, применение комплексного подхода позволяет:

- Улучшить коммуникации между участниками проекта
- Производить комплексный контроль со стороны заказчика
- Ускорение обмена информацией по выполненным работам и отслеживание графика выполнения работ

Список литературы

1. Balakina A., Simankina T., and Lukinov V. 4D modeling in high-rise construction// E3S Web of Conferences, 33 2018. doi:10.1051/e3sconf/20183303044
2. Soemardi B.W., Erwin, R.G. Using BIM as a Tool to Teach Construction Safety// MATEC Web of Conferences, 138 doi:10.1051/matecconf/201713805007
3. Ashour R., Taha T., Mohamed F., Hableel E., Kheil Y.A., Elsalamouny M., Kadadha M., Rangan K., Dias J., Seneviratne L., Cai G. Site inspection drone: A solution for inspecting and regulating construction sites// Midwest Symposium on Circuits and Systems 2017.
4. Entrop A.G., Vasenev A. Infrared drones in the construction industry: Designing a protocol for building thermography procedures //Energy Procedia 2017, pp. 63-68.
5. Погорелов В.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2016. Т. 40. № 1 (40). С. 58.
6. Fang Y., Chen J., Cho Y.K., Zhang P. A point cloud-vision hybrid approach for 3D location tracking of mobile construction assets// ISARC 2016 - 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2016, pp. 613-620.
7. Lee D., Kim S., Park J., Kwon S. Generation of 3D Terrain Map using Cell Deviation Algorithm for Earthwork// Procedia Engineering, 2017, pp. 436-440
8. Федорченко М.А. Управление инновациями в дорожном строительстве// Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. 2015. № 2-2. С. 66-74.
9. Tatum M.C., Liu J. Unmanned Aircraft System Applications in Construction// Procedia Engineering, 2017, pp. 167-175.

05.02.02

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов д-р. техн. наук

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, NFetisova@usurt.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОДВЕСЕ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВОЛНЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ СТАТОРА ДВИГАТЕЛЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-63-66

В статье приведены уравнения и зависимости, доказывающие, что можно управлять процессами движения линейного синхронного двигателя, изменяя только частоту бегущей волны магнитной индукции статорной обмотки, при этом частота должна изменяться пропорционально скорости движения поезда на электродинамическом подвесе.

Ключевые слова: поезд, двигатель, статор, частота, волна, подвес, электродинамика, индукция, движение, скорость, регулирование.

В реальных поездах на электродинамическом подвесе используются линейные синхронные двигатели. Синхронным называется такой двигатель, скорость волны магнитного поля статора которого равна скорости ротора, то есть в данном случае скорости подвижного состава. В статье [1] был рассмотрен асинхронный линейный двигатель, но при использовании сверхпроводящих колец с током в роли магнитных полюсов более эффективным оказывается синхронный вариант [2].

Управление движением можно осуществить за счет изменения амплитуды и (или) частоты бегущей волны. Рассмотрим регулирование скорости движения путем изменения частоты волны магнитной индукции статора. Задачей является нахождение зависимости изменения частоты при заданном законе изменения скорости.

Заменим рамку с током [3] на постоянный магнит, эквивалентный рамке [4] по создаваемой индукции магнитного поля. Возможность такой замены можно объяснить следующим образом. Явление магнетизма связано с движением какого-либо заряда, точнее элементарных заряженных частиц. В теле постоянного магнита можно выделить токи Ампера, замкнутые вокруг элементарных элементов объема. Токи Ампера направлены таким образом, что внутри магнита компенсируют друг друга и остается лишь ток, протекающий по поверхности магнита, который остался нескомпенсированным. Таким образом, для постоянного магнита можно подобрать рамку с током, ему эквивалентную. Данное утверждение сейчас строго доказываться не будет, а при необходимости его доказательство можно найти в [5]. Далее будет использоваться формула для силы тяги, действующей на магнит, которая идентична формуле для рамки с током [6], но преобразована таким образом, чтобы в нее входили параметры постоянного магнита [7].

Движение будет состоять из плавного разгона до определенной скорости, ее сохранение в определенном промежутке времени и плавного торможения. Представим закон движения в виде графика (рис. 1).

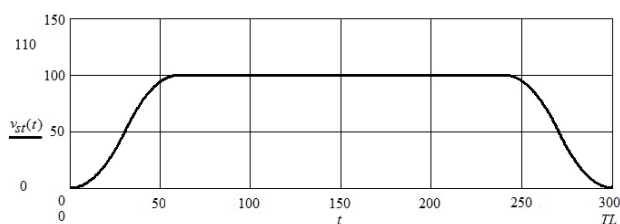


Рис. 1. Закон изменения скорости ротора

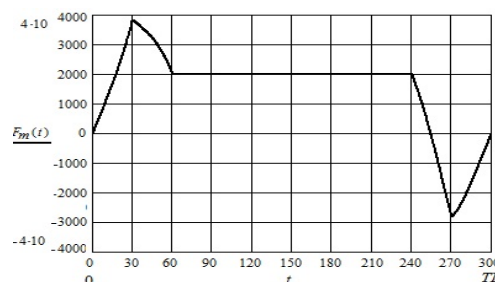


Рис. 2. Изменение магнитной силы тяги в зависимости от времени

Закон изменения скорости выглядит следующим образом:

$$v_{st}(t) = a_r \cdot t^2 \cdot (0 \leq t \leq \frac{t_r}{2}) + [v_m - a_r \cdot (t - t_r)^2] \cdot (\frac{t_r}{2} < t \leq t_r) + v_m \cdot (t_r < t \leq t_r + T) + \\ + [v_m - a_s \cdot (t - (t_r + T))^2] \cdot (t_r + T < t \leq TL - \frac{t_s}{2}) + [a_s \cdot (t - TL)^2] \cdot (TL - \frac{t_s}{2} < t \leq TL), \quad (1)$$

где v_{st} – желаемая скорость рамки (стандартная); a_r – ускорение, с которым происходит разгон; a_s – ускорение, с которым происходит торможение; t_r – время разгона; t_s – время торможения; T – время движения с постоянной скоростью; TL – полное время движения; v_m – постоянная скорость движения по участку.

Производная от скорости $v_{st}(t)$ – это ускорение $p_{vst}(t)$, а интеграл от скорости v_{st} – это координата $x_{st}(t)$:

$$p_{st}(t) = 2a_r \cdot t \cdot (0 \leq t \leq \frac{t_r}{2}) - 2a_r \cdot (t - t_r) \cdot (\frac{t_r}{2} < t \leq t_r) + 0 \cdot (t_r < t \leq t_r + T) - \\ - 2a_s \cdot (t - (t_r + T)) \cdot (t_r + T < t \leq TL - \frac{t_s}{2}) + 2a_s \cdot (t - TL) \cdot (TL - \frac{t_s}{2} < t \leq TL), \quad (2)$$

$$x_{st}(t) = a_r \cdot \frac{t^3}{3} \cdot (0 \leq t \leq \frac{t_r}{2}) + [v_m(t - \frac{t_r}{2}) - a_r \cdot (t - t_r)^3 \cdot \frac{1}{3}] \cdot (\frac{t_r}{2} < t \leq t_r) + v_m \cdot (t - \frac{t_r}{2}) \cdot (t_r < t \leq t_r + T) + \\ + [v_m(t - \frac{t_r}{2}) - a_s \cdot (t - (t_r + T))^3 \cdot \frac{1}{3}] \cdot (t_r + T < t \leq TL - \frac{t_s}{2}) + [v_m(\frac{t_r}{2} + T + \frac{t_s}{2}) + a_s \cdot (t - TL)^3 \cdot \frac{1}{3}] \cdot (TL - \frac{t_s}{2} < t \leq TL), \quad (3)$$

Масса подвижного состава, умноженная на ускорение $p_{vst}(t)$ – это результирующая сила, которая равна сумме магнитной силы тяги и силы сопротивления движению (по второму закону Ньютона).

$$m \cdot p_{vst}(t) = F_m(t) - \gamma \cdot v_{st}(t)^2, \quad (4)$$

где $F_m(t)$ – магнитная сила тяги; $\gamma \cdot v_{st}(t)^2$ – сила аэродинамического сопротивления движению; γ – коэффициент сопротивления движению.

Тогда магнитная сила должна изменяться:

$$F_m(t) = m \cdot p_{vst}(t) + \gamma \cdot v_{st}(t)^2, \quad (5)$$

Построим график ее изменения в зависимости от времени (рис. 2). Пики на рис. 2 связаны с разгоном и торможением. При движении с постоянной скоростью магнитная сила компенсирует суммарную силу сопротивления движению и остается постоянной. Сила, действующая на рамку с током, определяется как:

$$F(t) = M \cdot l \cdot H \cdot [B_y(x(t) + a, t) - B_y(x(t), t)], \quad (6)$$

где H – высота магнита; M – намагниченность прямоугольного ($a \times H \times l$) магнита; a и l – размеры магнита вдоль оси X и Y , соответственно.

При $a = \lambda/2$, с учетом того, что $B_y(x(t) + a, t) = B_y(x(t), t)$, получим:

$$F(t) = -2 \cdot M \cdot l \cdot H \cdot B_y(x(t), t), \quad (7)$$

Таким образом, если мы сможем менять магнитное поле $B(t)$ в точке расположения стороны магнита $x(t)$ по закону $B(t) = [1/(2 \cdot H \cdot l)] \cdot F_m(t)$, то сможем получить нужное движение. Формула бегущей волны с изменяющейся частотой:

$$B(t) = B_0 \cdot \cos(\varphi_0 + \int_0^t \omega(\tau) d\tau - 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot x_1(t)), \quad (8)$$

в которой отличие от использованной выше формулы для волны, бегущей с постоянной частотой состоит лишь в том, что вместо ωt появляется $\int_0^t \omega(\tau) d\tau$, так как частота переменная.

Пусть управление движением осуществляется по следующему закону изменения частоты от времени:

$$\omega(t) = 2 \frac{\pi}{\lambda} \cdot v_{st}(t), \quad (9)$$

Проинтегрируем по времени и получим:

$$\int_0^t \omega(\tau) d\tau = 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot x_{st}(t), \quad (10)$$

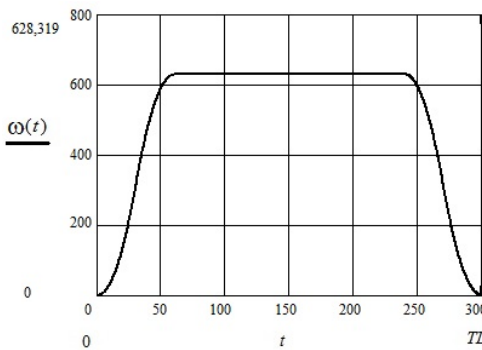


Рис. 3. Закон изменения частоты бегущей волны магнитной индукции

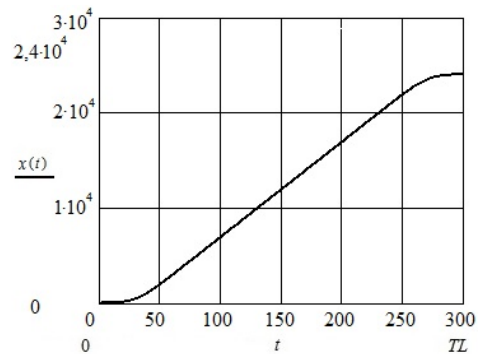


Рис. 4. Зависимость координаты x от времени

Из графика (рис. 3) видно, что частота должна изменяться подобно скорости. Учитывая выше сказанное, получаем уравнение:

$$m \cdot x''(t) = 2 \cdot I \cdot H \cdot B_0 \cdot \cos\left(-\frac{\pi}{2} + \varphi_1 + \int_0^t \omega(s) ds - 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot x(t)\right) - \gamma \cdot x'(t)^2, \quad (11)$$

где $x'(t)$ – скорость магнита; $x(t)$ – координата магнита.

При этом задачу Коши можно записать как:

$$m \cdot x''(t) = 2 \cdot I \cdot H \cdot B_0 \cdot \cos\left(-\frac{\pi}{2} + \varphi_1 + 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot (x_{st}(t) - x(t))\right) - \gamma \cdot x'(t)^2. \quad (12)$$

$$x(0) = 0,$$

$$x'(0) = 0.$$

С учетом: $m = 10^3$ кг, $I = 7 \cdot 10^5$ А, $H = 1$ м и $B_0 = 0,01$ Тл, решим уравнение численно и получим результаты в виде графиков (рис. 4–6).

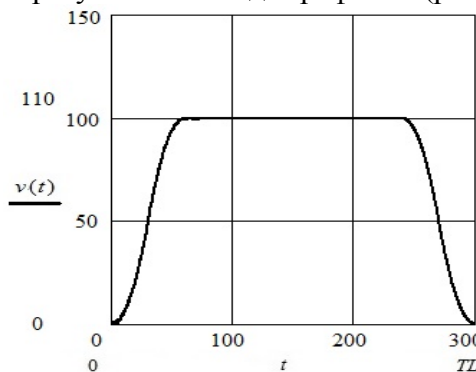


Рис. 5. Зависимость скорости от времени

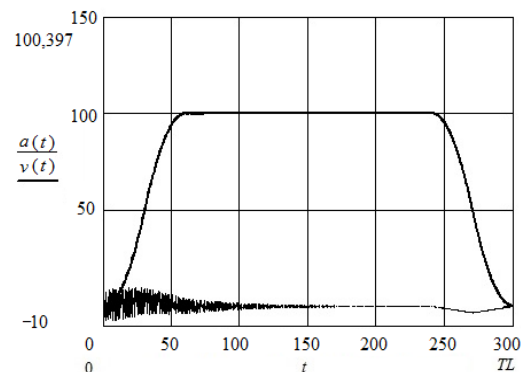


Рис. 6. Зависимость скорости и ускорения от времени

На рис. 6 показаны кривые скорости и ускорения. Видно, что в начале движения ускорение имеет наибольшую амплитуду колебаний, а в процессе движения колебания уменьшаются. Можно рассматривать это явление как своего рода переходный процесс, после которого скорость становится постоянной и через некоторое время ускорение также стремится к установившемуся значению.

Полученный результат свидетельствует о том, что можно управлять процессами движения линейного синхронного двигателя, изменяя только частоту бегущей волны магнитной индукции статорной обмотки. Частота в данном случае должна изменяться пропорционально скорости движения поезда на электродинамическом подвесе.

Список литературы

1. Фетисова Н.Г., Буйносов А.П. Определение сил линейного асинхронного двигателя высокоскоростного поезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 58-61.
2. Буйносов А.П. Алгоритм построения уравнений трансляционной динамики движения колесной пары в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 87-90.
3. Фетисова Н.Г., Буйносов А.П. Создание бегущей волны магнитного поля при произвольных параметрах пути и двигателя поезда на магнитной левитации // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 1. С. 74-77.
4. Фетисова Н.Г., Буйносов А.П. Оптимизация системы тяги линейного асинхронного двигателя поезда на магнитной левитации // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 6. С. 138-141.
5. Ким К.К. Системы электродвижения с использованием магнитного подвеса и сверхпроводимости. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 360 с.
6. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Основные принципы создания компьютерной модели экипажной электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 54-56.
7. Зоммерфельд А. Электродинамика. М.: Издательство иностранной литературы, 1958. 501 с.

05.02.00

А.Б. Юн д-р техн. наук, С.В. Захарьян канд. техн. наук, О.М. Синянская,
Л.М. Каримова канд. хим. наук, И.В. Терентьева канд. техн. наук

ТОО «КазГидроМедь»,
Республика Казахстан, г. Караганда, Leila_Tlep@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛОТАЦИОННО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-67-73

Представлены результаты лабораторных исследований по разработке комбинированной флотационно-гидрометаллургической технологии переработки смешанных медных руд месторождения «Крестоцентр». В результате флотационного обогащения руды получен черновой коллективный концентрат с извлечением меди 67,35 %, серебра 58,44 %, при гидрометаллургической переработке которого степень перехода в раствор меди составила 99,40%, серебра 92,09 %.

Ключевые слова: смешанные руды, обогащение, черновой концентрат, выщелачивание, раствор.

На горнодобывающих предприятиях при проведении вскрышных работ зачастую накапливается значительное количество труднообогатимых окисленных и смешанных медных руд, флотационное обогащение которых неэффективно. Из-за низких показателей извлечения окисленные руды признаны труднообогатимыми и отнесены к забалансовым.

Известные технологии обогащения окисленных и смешанных руд основаны на сульфидизации окисленных минералов меди и флотация их сульфгидрильными собирателями совместно (коллективная флотация) или отдельно (селективная флотация) с сульфидами [1].

Сложность обогащения смешанных руд обусловлена также непостоянством состава руд, каолинизацией и серитизацией вмещающих пород и различием флотационных свойств разных минералов меди.

В ряде работ [1-5] исследованы способы переработки смешанных руд с получением флотационного концентрата.

Авторами настоящей работы проведены исследования, направленные на повышение извлечения ценных компонентов из смешанных руд и уменьшение расхода реагента.

Исследования проводили на пробе смешанной руды Жезказганского месторождения «Крестоцентр» (Республика Казахстан) (таблица 1).

Таблица 1 – Состав исходной руды месторождения «Крестоцентр»

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Ag, г/т	7,33	Zn	0,015	K	1,31
Cu	0,86	Cl	0,09	Ti	0,317
Fe	3,06	Cr	0,014	Pb	0,004
Al	1,33	S	0,331	V	0,012
Si	14,56	P	0,117	Ca	0,945

Медь представлена в основном окисленными минералами на 76,74 %, из них: карбонатами меди – 43,02 % (отн.), хризокolloй – 33,72 % (отн.). Сульфидные минералы меди составляют 23,26 % (отн.).

Проведены исследования по изучению кинетики измельчения руды месторождения «Крестоцентр». Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кинетика измельчения руды месторождения «Крестоцентр»

Класс крупности, мм	Исходный материал	Время измельчения			
		5 мин	8 мин	10 мин	15 мин
+ 0,071	Выход, %	Выход, %			
	79,99	43,18	35,56	28,19	18,46
-0,071+0,045	9,11	11,51	14,44	17,19	17,78
-0,045+0	10,90	45,31	50,00	54,62	63,76

Исследования по обогащению методом флотации выполнялись на лабораторных флотационных машинах типа «Механобр», с объемом камер 1; 0,75; 0,5 дм³.

Получение черногового коллективного концентрата проводили в замкнутом цикле. Схема проведения опыта приведена на рисунке 1.

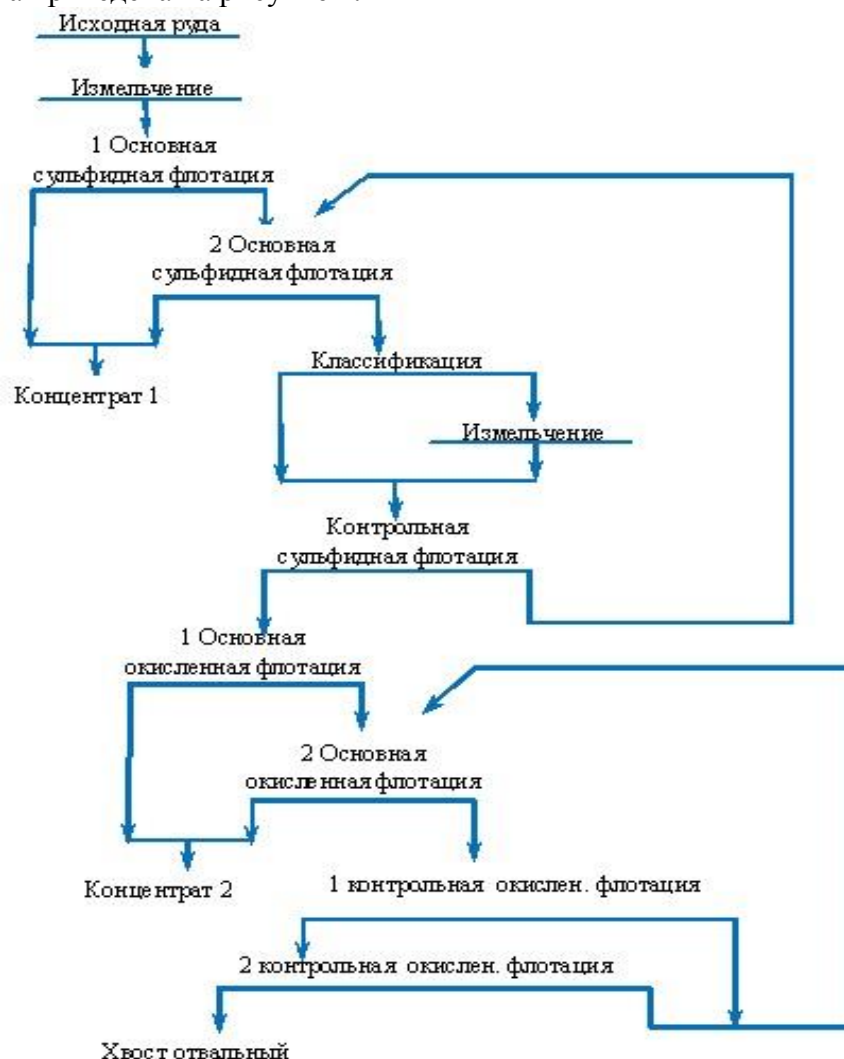


Рисунок 1 – Схема проведения опыта в замкнутом цикле по получению черногового коллективного концентрата

Ниже приведено краткое описание предложенной схемы обогащения. Первый каскад флотации был направлен на извлечение сульфидной составляющей руды с использованием стандартного реагентного режима. В первую и вторую основную сульфидные флотации подавался собиратель - ксантогенат натрия бутиловый и вспениватель - МИБК. На передельи измельчения для осаждения шламов пустой породы подавался модификатор флотации – СQ (производства фирмы СУТЕК). На втором каскаде флотации проводилась флотация окисленных минералов меди. Предварительно проводилась сульфидизация окисленных минералов меди сернистым натрием в течение 5 минут. Затем в первую и вторую основные окисленные флотации подавался реагент собиратель окисленных минералов меди гидроксаматной группы серии МХ (производства фирмы СУТЕК).

Результаты проведенного опыта приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты теста

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Ag, г/т	Fe	Cu	Ag	Fe
Концентрат основной сульфидной флотации	6,70	3,17	45,1	4,81	24,71	41,25	10,53
Концентрат основной окисленной флотации	8,24	4,45	15,3	4,53	42,63	17,19	12,19
Сумма	14,94	3,88	28,67	4,66	67,35	58,44	22,73
Хвост отвалный	85,06	0,33	3,58	2,78	32,65	41,56	77,27
Исходная руда	100,00	0,86	7,33	3,06	100,00	100	100,00

В результате проведения эксперимента извлечение меди в черновой концентрат составило 67,35%, серебра 58,44%

Для переработки сульфидных медных концентратов наиболее перспективными являются гидрометаллургические способы с использованием в качестве выщелачивающего агента растворов азотной кислоты HNO_3 [6-8] или смесей $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ кислот.

Перспективность использования в качестве выщелачивающего реагента азотной кислоты определяется:

- энергетическая эффективность протекающих химических реакций;
- высокий окислительный потенциал системы;
- возможность утилизации отходящих нитрозных газов с регенерацией азотной кислоты.

В работе [9] изучена кинетика разложения сульфидов растворами азотной кислоты и определены показатели извлечения.

При обработке медных концентратов растворами азотной кислоты содержащиеся в них серебро в растворы не переходит.

Драгоценные металлы, как описано в литературе [10, 11], растворяются в смеси HCl и HNO_3 (3:1). Несмотря на то, что серебро с образует труднорастворимое соединение AgCl , при избытке в растворе хлорид-иона хлорид серебра растворяется с образованием хлоридного комплекса серебра $[\text{AgCl}_2]^-$. Для поддержания в растворе избытка хлорид-иона кроме соляной кислоты возможно использование любых хлоридсодержащих соединений, например, хлорида натрия.

Для проведения исследований по выщелачиванию был использован объединенный черновой концентрат (рисунок 1), химический и фазовый состав которого приведен в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Содержание основных компонентов в концентрате «Кресто-центр»

Компоненты	Содержание, %	Компоненты	Содержание, %
Cu	4,14	Zn	0,037
Fe	4,61	Al	7,27
Si	26,58	Pb	0,044
Ag, г/т	30,7	Ca	1,21
Mg	1,14	As	0,010
Mn	0,16	Ti	0,384

Таблица 5 – Фазовый анализ черного концентрата

Формы нахождения меди	Содержание Cu, %	
	абсолютное	относительное
Окисленные соединения	1,68	40,58
Хризоколла	0,009	0,22
Сульфиды	2,45	59,18
Сумма	4,14	100,0

Как было установлено ранее [12-14], проведение предварительной механоактивации концентрата позволяет значительно повысить извлечение меди и серебра в раствор, а также сократить время выщелачивания. Для интенсификации процесса выщелачивания была проведена предварительная механоактивация черного концентрата в оттирочно-агитационном комплексе (ОАК) ЗАО «РИВС» [14].

Механоактивацию навески черного медного концентрата проводили при плотности пульпы 50 %, скорости вращения импеллера 1400 об/мин. Продолжительность механоактивации в ОАК составила 12 мин.

В состав пустой породы, содержащейся в черном медном концентрате, входят карбонаты, которые в первую очередь реагируют с выщелачивающим агентом (азотной кислотой). С целью определения принципиальной возможности уменьшения общего расхода окислителя (HNO_3), для растворения основной части порообразующих карбонатных минералов (кальцита, известняка и др.) использовали концентрированную серную кислоту (H_2SO_4).

Принципиальная технологическая схема выщелачивания черного концентрата представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема выщелачивания черного концентрата

Исследования по азотнокислоте выщелачиванию черновых медных сульфидных концентратов проводили при перемешивании в термостатированном реакторе марки «Minni-100-1».

Для поиска оптимальных показателей выщелачивания многокомпонентного черного медного концентрата раствором азотной кислоты с добавлением хлорида натрия (NaCl) применен метод Зейделя-Гаусса [15]. Изучено влияние расхода хлорида натрия (γ_{NaCl} , г/л) в интервале 37-112, концентрации азотной кислоты (C_{HNO_3} 60 – 180 г/л), температуры (t , 60-90 °C); отношение Ж:Т (3:1-6:1) на извлечение меди, серебра, железа в раствор. Условия проведения экспериментов и полученные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Зависимость экспериментальных (ε) значений извлечения меди (ε_{Cu}), серебра (ε_{Ag}), железа (ε_{Fe}) из черного медного концентрата в раствор

Переменный параметр (условия проведения эксперимента)		Выход кека, %	β_{Cu} , % в кеке	ε_{Cu} , в раствор , %	β_{Ag} , г/т , в кеке	ε_{Ag} , в раствор , %	β_{Fe} , % в кеке	ε_{Fe} , в раствор , %
Дозировка NaCl, г/л ($C_{HNO_3} - 140$ г/л, $\tau - 60$ мин, $t - 90$ °C, Ж:Т=4:1)	37	79,9	0,16	96,91	12,4	67,73	3,18	44,88
	50	80,0	0,17	96,71	5,05	86,84	3,10	46,20
	75	77,6	0,035	99,40	3,13	92,09	2,30	61,28
	87,5	80,6	0,030	99,5	3,65	90,42	2,18	61,88
	100	79,8	0,03	99,42	4,24	88,98	2,08	63,99
	112	79,6	0,03	99,4	2,80	92,00	2,05	64,60
C_{HNO_3}, г/л ($t - 90$ °C, $\tau - 60$ мин, $\gamma_{NaCl} - 75$ г/л, Ж:Т=4:1)	60	84,0	0,18	96,35	4,80	86,87	3,67	33,13
	80	82,0	0,082	98,37	3,43	91,00	2,78	50,55
	100	81,0	0,130	97,46	4,05	89,30	2,87	49,57
	120	81,0	0,052	99,08	3,35	91,16	2,49	56,25
	140	77,6	0,035	99,40	3,33	91,60	2,30	61,28
	160	78,0	0,034	99,60	3,33	91,54	2,37	59,90
t, °C ($C_{HNO_3} - 140$ г/л, $\gamma_{NaCl} - 75$ г/л, $\tau - 60$ мин.)	60	87,4	0,43	90,92	11,47	67,34	3,97	24,73
	70	80,1	0,09	98,26	5,74	85,02	3,11	45,96
	90	77,6	0,035	99,40	3,33	91,60	2,30	61,28
Ж:Т ($\gamma_{NaCl} - 75$ г/л, $\tau - 60$ мин, $t - 90$ °C, $C_{HNO_3} - 140$ г/л)	3:1	81,0	0,05	99,02	4,2	88,92	2,60	54,22
	4:1	77,6	0,035	99,40	3,33	91,60	2,30	61,28
	6:1	77,0	0,030	99,60	3,30	91,72	2,25	62,42

Как показывают данные таблицы 6 концентрация хлорида натрия в наибольшей степени влияет на извлечение серебра и железа в раствор [6, 7], что очевидно, связано с улучшением процесса хлорирования при более высоких показателях концентрации хлор-иона в растворе. В результате, с увеличением расхода хлорида натрия до 75 г/л происходит повышение извлечения серебра в раствор (до 92,09 %), но при дальнейшем добавлении хлорида натрия извлечение серебра не меняется.

Концентрация азотной кислоты оказывает большое влияние на извлечение компонентов концентрата. При концентрации азотной кислоты 60 г/л, извлечение меди в раствор имеет относительно низкое значение - 86,87%, что отражает уменьшение окислительного потенциала системы. Очевидно, что нехватка выщелачивающего агента (т.е. азотной кислоты) приводит к образованию поверхностных пленок, затрудняющих доступ кислоты к непрореагировавшим сульфидным частицам, вследствие чего возникают внутридиффузионные ограничения. Повышение концентрации азотной кислоты до 120 г/л и выше приводит к улучшению показателей извлечения. В результате экспериментов определена оптимальная концентрация азотной кислоты - 140 г/л, при этом извлечение компонентов в раствор составило: меди – 99,4%, серебра – 91,60%, железа – 61,28%.

С ростом температуры от 60 до 90 °C извлечение меди, серебра и железа в раствор увеличивается. При этом извлечение меди в исследуемом интервале повышается с 90,92 до 99,40%, серебра - с 67,34 до 91,60%, железа - с 24,73 – 61,28%.

При изменении Ж:Т от 3:1 до 6:1 извлечение меди, серебра и железа в раствор возрастает, а при уменьшении соотношения Ж:Т извлечение снижается. Оптимальным значением Ж:Т = 4:1, при этом извлечение меди серебра и железа в раствор составляет 99,4 %, 91,6 % и 61,28 %, соответственно.

В процессе выщелачивания черного концентрата с предварительной механоактивацией получен продуктивный раствор и отвальный кек, химический состав которых представлен в таблицах 7 и 8 соответственно. Выход кека в этих условиях составил 77,6% от черного концентрата.

Таблица 7 – Химический состав продуктивного раствора

H^+	Cu^{2+}	Fe	Pb	Zn^{2+}	$[AgCl_2]^-$	SiO_3^{2-}	Al^{3+}
моль/л	г/л	г/л	г/л	г/л	мг/л	г/л	г/л
1,5	8,83	7,17	0,094	0,084	4,22	0,14	2,72

Таблица 8 – Химический состав отвального кека, %

Cu	Ag, г/т	Zn	Fe	Pb	P	Al
0,035	3,3	н.о.	2,30	н.о.	0,082	7,14
Cr	As	Ni	Mg	Ti	Si	S
0,082	0,003	0,004	0,442	0,483	33,07	0,6

Выводы

Проведены научно-исследовательские работы по разработке технологии переработки смешанных руд Жезказганского месторождения. Разработана комбинированная флотационно-гидрометаллургическая технология, включающая следующие основные стадии:

- обогащение смешанных руд до черного концентрата;
- азотнокислое выщелачивание черного концентрата с получением продуктивного раствора;

По результатам исследований определены оптимальные параметры процесса выщелачивания черного концентрата: C_{HNO_3} – 140 г/л, τ – 60 мин, t – 90 °С, Ж:Т=4:1, γ_{NaCl} – 75 г/л. При этом достигаются следующие показатели извлечения в раствор: меди – 99,40%; серебра – 92,09%; железа – 61,28%.

Список литературы

1. Абрамов А.А. Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов. Москва: Недра, 1986. – 302 с.
2. Патент RU № 2418872. Способ переработки смешанных медных руд. / Назимова М.И., Травников В.Н., Травникова О.Н., Крылова Л.Н., Адамов Э.В. Опубл. 20.05.2011.
3. Лапшин Д. А., Простакишин М. Ф., Золотарев В. Н., Храмова И. Н. Разработка технологии переработки руд Удоканского месторождения. Часть 1. Лабораторные исследования по определению основных технических решений // Цветные металлы, 2014. - №8. – С. 8-11.
4. Митрофанов С.И., Базанова Н.М. Совершенствование схемы и режима обогащения Удоканских медных руд. // Цветные металлы, 1981, №3. – С. 74-77.
5. Жарменов А.А., Шалгымбаев С.Т., Ниязов А.А., Ли Э.М., Болотова Л.С., Агибаева Д.Н., Тюгай О.М., Шегай О.Г. Разработка комбинированной флотационно-гидрометаллургической технологии переработки окисленной медной руды месторождения «Хаджиконган» // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. - 2017. - №6. – С. 47-60.
6. Цогтхангай Должийн Гидрометаллургическая переработка медного концентрата КОО «Эрдэнэт». Автореф. дисс. канд. техн. наук, Екатеринбург, 2011. – 24 с.
7. Цогтхангай Д., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Набойченко С.С. Азотнокислое выщелачивание медных концентратов как альтернатива их пирометаллургической переработке / Международная научно-техническая конференция «Приоритетные направления развития науки и технологий». – Тула, 2011. - С.215-217.

8. Шоинбаев А.Т. Физико-химические основы и разработка гидрометаллургического способа переработки молибденсодержащих продуктов. Автореф. дисс...доктора техн. наук, Алматы, 1999. -46 с.
9. Рогожников Д.А. Комплексная гидрометаллургическая переработка многокомпонентных сульфидных промпродуктов. Автореф. Дисс...канд.техн.наук. – Екатеринбург: УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2013. – 22 с.
10. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. В 2-х томах. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. - 342 с.
11. Минаев Г.Г., Панченко А.Ф. Растворители золота и серебра в гидрометаллургии. – М.: Металлургия, 1994. 241 с.
12. Медведев А.С., Александров П.В. Варианты переработки молибденитовых концентратов, в том числе с использованием предварительной механоактивации // Известия вузов. Цветная металлургия, 2012. - №6. – С. 15-18.
13. Юн А.Б., Захарьян С.В., Каримова Л.М. Исследования по азотнокислomu выщелачиванию чернового медного концентрата ЖОФ из руд текущей добычи ТОО «Корпорация Казахмыс» // Материалы научно-практической конференции «Абишевские чтения, 2016». – С. 581.
14. Абдрахманов И. А., Ягудин Р. А., Зимин А. В., Калинин Е. П., Немчинова Л. А. Повышение технологических показателей цинкового цикла на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» // Горный журнал, 2010. - №10. - С.17-21.
15. Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // Вестник АН Каз ССР. - 1978. - №4. - С. 31-38.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (05.11.00)**

05.11.17

**П.В. Волобуев д-р физ.-мат. наук, Е.Д. Усков, К.О. Хохлов канд. физ.-мат. наук,
В.П. Новоселов канд. техн. наук, А.П. Волобуев канд. биол. наук, К.Н. Пестов,
Е.В. Моисейкин канд. физ.-мат. наук**

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н.Ельцина
Физико-технологический институт, кафедра технической физики
Екатеринбург; uskov-evgeny@yandex.ru

**СТАЦИОНАРНОЕ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ПРЯМОГО
ДЕЙСТВИЯ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-74-78**

Разработано стационарное магнитотерапевтическое устройство прямого действия. Устройство состоит из двух оптимизированных соосно расположенных индукторов, секционной системы теплосъема, системы механического привода, системы управления и формирования импульсов напряжения. Доступна широкая вариация комплекса биотропных параметров магнитного поля в исследовательских или терапевтических целях. При интенсивном воздействии обеспечивается избирательное угнетение злокачественных опухолей.

Ключевые слова: магнитотерапевтическое устройство, оптимизированные индукторы, система управления и формирования импульсов, система теплосъема, система механического привода, биотропные параметры магнитного поля, избирательное угнетение злокачественных опухолей.

Эффективность применения магнитотерапии в существенной мере зависит от корректного обеспечения и учета совокупности биотропных параметров поля [1]. Для оценки их значимости требуются устройства, способные формировать поля с управляемой структурой.

Разработанное стационарное многофункциональное устройство прямого действия на различающиеся биообъекты регулируемым в широком диапазоне импульсным низкочастотным полем предназначено для обеспечения оптимального терапевтического эффекта. Устройство позволяет осуществлять системные исследования отклика биообъектов на комплекс задаваемых параметров воздействия.

Устройство содержит взаимообусловленные блоки.

1. Два соосно расположенных, параллельно соединенных индуктора, которые могут быть задействованы как совместно, так и отдельно, генерируют регулируемые импульсы магнитного поля в расположенной между ними рабочей зоне.

2. Секционная система теплосъема и теплоотвода от каждого из индукторов отдельно регулирует в заданных пределах их охлаждение и обеспечивает температурный режим воздействия на биообъекты.

3. Система механического привода целенаправленно формирует рабочую зону в соответствии с антропометрическими характеристиками биообъектов, в том числе отдельных их локальных участков. Объект воздействия располагается на подвижной горизонтальной подставке в рабочей зоне между соленоидами.

4. Система управления и формирования импульсов напряжения, подаваемого на соленоиды индукторов, обеспечивает многофункциональность воздействия. Многофункциональность обеспечивается широким диапазоном совокупности биотропных параметров магнитного поля, непрерывным их изменением в автоматическом режиме при настройке и регулировании.

Работа устройства задается посредством команд программы управления. Отображение текущего значения тока производится в виде импульсов, что позволяет контролировать режим воздействия.

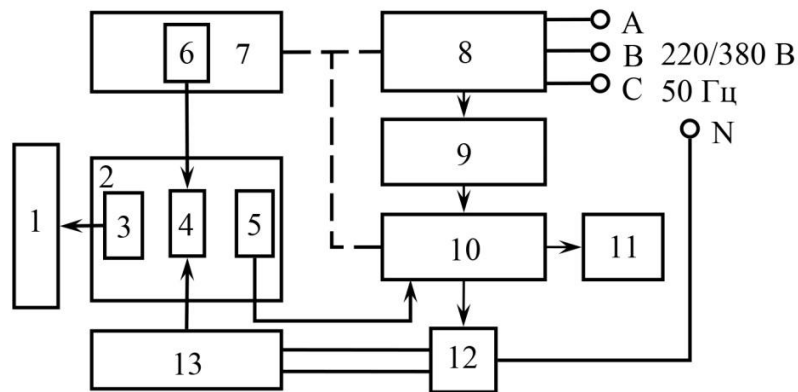


Рис.1 – Блок-схема системы управления

1 – компьютер, 2 – микроконтроллерный блок управления, 3 – USB интерфейс, 4 – аналого-цифровой преобразователь, 5 – блок широтно-импульсной модуляции, 6 – датчик температуры, 7 – радиатор охлаждения, 8 – диодный трехфазный выпрямитель, 9 – фильтр, 10 – мостовая схема, 11 – соленоиды, 12 – измеритель тока, 13 – усилитель.

Система управления и формирования импульсов (Рис.1) содержит диодный трехфазный выпрямитель (8) и фильтр (9) для сглаживания сетевого напряжения, мостовую схему (10) на ключевых транзисторах, измеритель тока (12) на шунте или датчике Холла с усилителем (13), микроконтроллерный блок управления (МК) (2) с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) (4) и блоком широтно-импульсной модуляции (ШИМ) (5). Управление мостовой схемой осуществляется от блока ШИМ, связь МК с компьютером (1) реализована через USB интерфейс (3). Соленоиды (11) подключены к мосту. В целях обеспечения температурного режима мост и выпрямитель закреплены на радиаторах (7), охлаждаемыми встроенными вентиляторами. Температура на радиаторах контролируется датчиком (6).

Выпрямленное напряжение поступает на мостовую схему, которая производит задание величины тока через соленоиды при помощи ШИМ. ШИМ представляет пачку прямоугольных импульсов напряжения не менее 300В при устанавливаемым программой коэффициенте заполнения. Фронт импульса условно разбивается на участки в 1 мс, их количество определяется задаваемой его длительностью. Вариации параметров ШИМ позволяет обеспечить необходимую плавность изменения выходного тока на фронте импульса, контроль которого осуществляется с частотой 1 кГц. Для максимальной скорости нарастания (спада) фронта импульса подается постоянное напряжение 300 В. Спустя время, соответствующее длительности фронта импульса, подача постоянного напряжения на мостовую схему прекращается. Соленоиды должны разряжаться и отдавать накопленную энергию самоиндукции в источник питания (выпрямитель), ускорение передачи при разрядке достигается передачей на соленоиды напряжения, противоположного по знаку. Для поддержания плато импульса тока используется ШИМ при фиксированном коэффициенте заполнения. Нагрев обмотки индукторов увеличивает их сопротивление, стабилизация тока обеспечивается автоматической коррекцией коэффициента заполнения.

Управляющая программа через USB интерфейс посылает специальную команду на микроконтроллер. Микроконтроллер задает режим работы мостовой схемы. Вся информация о режиме работы фиксируется на панели управления: включение/выключение нижнего соленоида; полярность импульсов (биополярные, положительные или отрицательные); время нарастания фронта импульса; время спада фронта импульса; длительность импульса; длительность паузы; амплитуда тока; время работы устройства до автоматического отключения.

Система управления, в соответствии с поступающими на микроконтроллер командами задает параметры работы устройства:

- Реализуется форма импульсов по току (магнитному полю в рабочей зоне) от треугольных до практически прямоугольных, что позволяет регулировать крутизну их фронтов. При максимальной амплитуде минимальная длительность фронтов составляет 15 мс для двух работающих соленоидов, а для одного – 7,5 мс.
- Устанавливается амплитуда, задаваемых по выбору, одно- или биполярных импульсов от минимальных значений порядка 5 А до высокоинтенсивных 30 А. Пульсации тока на плато импульсов, не превышающие 3,5 % от амплитуды, происходят с частотой 150 Гц.
- Выбирается продолжительность и скважность следования сигналов в широком диапазоне собственных биоритмов объектов воздействия. При максимальном токе частота следования импульсов может достигать 15 Гц для однополярного режима и 7,5 для биполярного, при минимальном 90 Гц и 45 Гц соответственно.

На клеточно-молекулярном уровне низкочастотные магнитные поля стимулируют магнитохимические эффекты, в том числе окислительно-восстановительные реакции, такие как при клеточном дыхании. Выход продуктов реакции зависит от индуктивности поля. В зависимости от крутизны фронтов импульсов (скорости изменения поля) индуцируются: поляризация связанных и перемещение свободных заряженных частиц, что активирует метаболические процессы. Реализуемый частотный диапазон допускает наличие биологически активных окон, обусловленных явлениями резонансов и синхронизации [2].

Известно, что амплитуда индукции задается величиной тока в соленоидах и их индуктивностью. Индуктивность определяет инерционность системы, а от тока зависит тепловыделение. Конструкция индуктора решает проблему соотношения инерционности и тепловыделения при умеренном энергопотреблении до 1000 Вт.

Индуктор содержит каркас из немагнитного теплопроводящего сплава в виде двух дисков, закрепленных на втулке. Радиальные прорезы в дисках препятствуют токам Фуко. Внешний диаметр обмотки 36 см соответствует ширине рабочей зоны. При необходимости ограничение площади воздействия осуществляется использованием наборов экранирующих гибких пластин задаваемых размеров и формы из магнитомягких сплавов с минимальным энерговыделением. При плотноупакованной обмотке индуктора поле, генерируемое наиболее удаленными от рабочей зоны витками, составит 75% от значения, определяемого ближайшими к ней. Это позволяет обеспечить одним индуктором воздействие полем до 100 мТл. Использование не замкнутых кольцевых вставок и компаунда при секционной компоновке обмотки в совокупности с малой высотой индуктора позволяют избежать его перегрева.

Тепло от индуктора отводится к полым теплоемникам из немагнитного материала. Теплоемники, через которые прокачивается теплоноситель, имеют форму аналогичную дискам каркаса индуктора. Установленные на этих дисках, они экранируют рабочую зону, что обеспечивает температурный режим объекта воздействия. Теплоотвод от индукторов осуществляется отдельно. Каждая секция теплоотвода представляет замкнутый контур для охлаждения теплоносителя (дистиллированной воды или антифриза). Циркуляционный насос допускает регулировку скорости прокачки. Принудительное охлаждение осуществляется с помощью радиатора со встроенным в его корпус вентилятором с регулируемой скоростью вращения. Для компенсации температурного изменения объема теплоносителя предусмотрен гидроаккумулятор. Счетчики регистрируют скорость прокачки и температуру, давление в контуре. Максимальная скорость равна 18 л/мин, что обеспечивает температуру теплоносителя при максимальной тепловой нагрузке не выше 35°C. Из контура предусмотрено удаление воздуха при его заполнении, система клапанов обеспечивает слив и подачу теплоносителя. Заполнение осуществляется до регистрируемого деления в одну избыточную атмосферу.

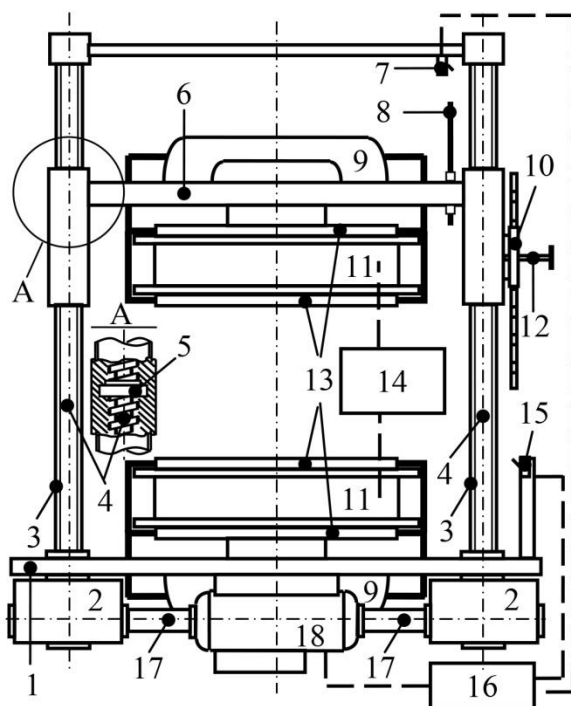


Рис.2 – Система механического привода

1 – основание, 2 – винтовые домкраты, 3 – полые стойки, 4 – вертикальные выходные валы, 5 – винтовые втулки, 6 – подвижная траверса, 7 – верхний концевой выключатель, 8 – контактный стержень, 9 – секции теплоотвода, 10 – контактная линейка, 11 – индукторы, 12 – фиксатор положения линейки, 13 – диски теплосъемников, 14 – блок управления и формирования импульсов, 15 – нижний концевой выключатель, 16 – реверсивный блок питания, 17 – промежуточные валы, 18 – приводной электродвигатель.

Раздельный теплоотвод от индукторов допускает их относительное перемещение при формировании рабочей зоны посредством системы механического привода (Рис.2). Механический привод обеспечивает перемещение относительно неподвижного основания (1) траверсы (6) на задаваемую величину. На основании и траверсе размещены индукторы (11) с теплосъемниками (13) и секциями теплоотвода (9). В полых стойках (3), закрепленных на основании, установлены винтовые валы (4). Через диаметрально расположенные в стойках прорези винтовые втулки (5), надетые на валы, прикреплены к траверсе. Под основанием находится приводной электродвигатель (18) с электромагнитным тормозом для фиксации положения траверсы при отключении блока питания (16). Двигатель через промежуточные валы (17) подает вращение на винтовые домкраты (2) и далее на вертикально установленные винтовые валы. Вращение валов через прикрепленные к траверсе винтовые втулки преобразуется в её вертикальное перемещение.

Для ограничения перемещений траверсы установлены верхний (7) и нижний (15) концевые выключатели блока питания. Предельное верхнее положение траверсы задано посредством контактного стержня (8), установленного на ней. Положение подвижного индуктора определяется размыканием нижнего концевой выключателя посредством контактной линейки (10). Контактная линейка с фиксатором (12) её положения присоединена к траверсе. Регулируемое непрерывно или дискретно изменение расстояния между индукторами может составлять (10-50) см. Формирование и настройка рабочей зоны осуществляется как предварительно, так и в ходе процедуры воздействия.

Трехмерное изображение распределения магнитного поля в рабочей зоне, создаваемое индукторами, доступно оператору. Его визуализация осуществляется путем непосредственных измерений в совокупности с аналитическими расчетами.

В настоящее время в лечебной практике используется магнитотерапевтическая аппаратура, обеспечивающая стимулирующее воздействие на биообъекты слабым магнитным полем с индуктивностью в зоне воздействия преимущественно до 10 мТл [3]. Технические решения, реализованные в настоящем устройстве, допускают вариацию биотропных параметров магнитного поля в широких пределах для непосредственного воздействия.

Приведенные ранее исследования [4,5] воздействия низкочастотного поля с амплитудой порядка 100 мТл зафиксировали избирательное угнетение злокачественных опухолей представительных выборок подопытных животных. Изготовленное устройство позволяет реализовывать оптимально, в том числе угнетающее воздействие на различающиеся патологии.

Авторы выражают благодарность АО “УЭХК”, АО ОКБ “Новатор” и ООО “ВИЗ – Сталь” за техническую поддержку при изготовлении настоящего устройства.

Список литературы

1. Сердюк В.В. Магнитотерапия: прошлое, настоящее, будущее. Справочное пособие. / В.В. Сердюк. – К.: Азиму –Украина, 2004 г., 536 с.
2. Бинги В.Н. Принципы электромагнитной биофизики. / В.Н. Бинги. – М.: Физматлит, 2011., 592 с.
3. Соловьёва Г.Р. Магнитотерапевтическая аппаратура / Г.Р. Соловьёва – М.: Медицина, 1991, 176 с.
4. Волобуев А.П. Возможности использования инфранизкочастотного поля в лечении онкопатологии. / Волобуев А.П., Усков Е.Д., Казанцева Н.В. // Уральский медицинский журнал – 2010. – №12 – С.42-44.
5. Tatarov I. Effect of Magnetic Fields on Tumor Growth and Viability./ I. Tatarov, A. Panda, D. Petkov, K. Kolappaswamy, K. Thompson, A. Kavirayani, M.M. Lipsky, E. Elson, C.C. Davis, S.S. Martin, L.J. DeTolla// Comp Med. – Aug, 2011. – V.61, I.4 – p. 339-345.

05.11.15

¹Г.М. Мучкаева канд. сх. наук, ²Е.А. Будевич канд. техн. наук, ¹А.С. Бирюков,
¹М.Б. Нахаев

¹Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
инженерно-технологический факультет, кафедра агроинженерии,
Элиста, galya_2508@mail.ru

²Ухтинский государственный технический университет,
Кафедра инженерных технологических машин и оборудования
Ухта, oleg.getrag@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ КЛАПАННОЙ ГРУППЫ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-79-81

Рассмотрены допустимые значения контролируемых параметров до ремонта и комплекс средств для обнаружения дефектов деталей клапанной группы двигателя А-41. Приведены различные виды погрешностей, проявляющиеся в процессе ремонта деталей двигателей внутреннего сгорания; предложен метод для уменьшения величины погрешностей с применением средства для очистки клапанов двигателей от нагара.

Ключевые слова: клапан, погрешность, биение инструментального блока, базирование инструмента режущего характера, средства измерения.

В ходе эксплуатации сельскохозяйственной техники возникают различные неисправности, которые необходимо своевременно и эффективно устранять. Одной из частых неисправностей при ремонте двигателей, а именно ремонте головки цилиндров является износ клапанов и клапанных гнезд. От качества обслуживания клапанов будут зависеть такие показатели, как расход топлива, энергетические показатели.

При эксплуатации двигателя, в системе газораспределительного механизма на определенном этапе возникают дефекты. Основные из них: прогиб стержня клапана, изнашивание его по торцевой части и диаметру, изнашивание фаски тарелки клапана, износ втулок направляющего характера. Их значения на допустимом уровне и средства измерения для двигателя А-41 приведены в таблице 1.

При ремонте для устранения выше описанных дефектов клапанов используются различные средства. Известно средство [1], которое относится к техническому обслуживанию двигателей внутреннего сгорания тракторов и автомобилей, в частности для шлифования фасок и тарелок клапанов от нагаров, образующихся при сгорании материалов. Применение средства способствует повышению эксплуатационных характеристик двигателя. Это достигается тем, что данное средство для шлифования фаски и тарелок клапанов в своей конструкции имеет зубчатые колеса, выполняющие функцию осуществления перемещения винтовых толкателей, которые соединены с абразивным и режущим плечами. В свою очередь это позволяет выполнить весь спектр технологических операций по шлифрованию клапана двигателя и устранению дефектов, возникающих при эксплуатации двигателя.

В ходе выполнения ремонтных работ проявляются разного рода погрешности [2]: погрешность отклонения оси фаски седла; погрешность базирования средства, выполняющего режущие операции; погрешность, величина которых зависит от применяемых режимов; погрешность, имеющая место в результате процесса отжатия приспособления; погрешность, описывающая биение инструментального блока в шпинделе инструмента, которым производят обработку.

Таблица 1 - Значения контролируемых величин на допустимом уровне (до ремонта) и средства их выявления (для двигателя А-41)

Дефект	Контролируемая величина	Допустимое значение параметра до ремонта, мм	Средства измерения
Износ седла клапана	Суммарный допуск формы и расположения (радиальное биение поверхности, основанной скосом кромки седла клапана	0,04	Приспособление индикаторное 70-8731-1041
Износ направляющих втулок клапанов	Внутренние диаметры втулок направляющего характера клапанов	12,08	Нутромер индикаторный повышенной точности модели 105
Износ стержня клапана	Отклонение от круглости: овальность и частный вид отклонения профиля продольного сечения: конусообразность	до 0,02	Микрометр МК 25-2
Изгиб вала	Суммарное отклонение формы и расположения поверхностей: биение средних опор по отношению к крайним	0,05	Индикатор ИЧ10Б; плита поверочная 2-1-1000х630
Износ опорных шеек	Частный случай отклонения от круглости: овальность, не более	0,02	Микрометр МК-75-1
Износ кулачков	Действительное значение высоты кулачков	48,3 вп. 46,2 вып.	Микрометр МК-75-1

На практике, в ходе выполнения ремонтных работ клапанов такого рода, погрешности не устраняются [3]. Обработку параметров формирования погрешностей с метрологической точки зрения возможно выполнить по двум видам базирования: технологии с пилотом направляющего характера, вращающемся во втулке; технологии с пилотом, образующим неподвижное соединение со втулкой и вращающимся на нем средством, выполняющим операции по резанию. Отмечено, что наибольшей точностью характеризуется базирование по второму типу.

На рис. 1 приводятся результаты зависимости величины съема материала при процедуре обработки фаски выпускного седла клапана (двигателя А-41) от смещения оси втулки направляющего характера для базирования инструмента по второму типу.

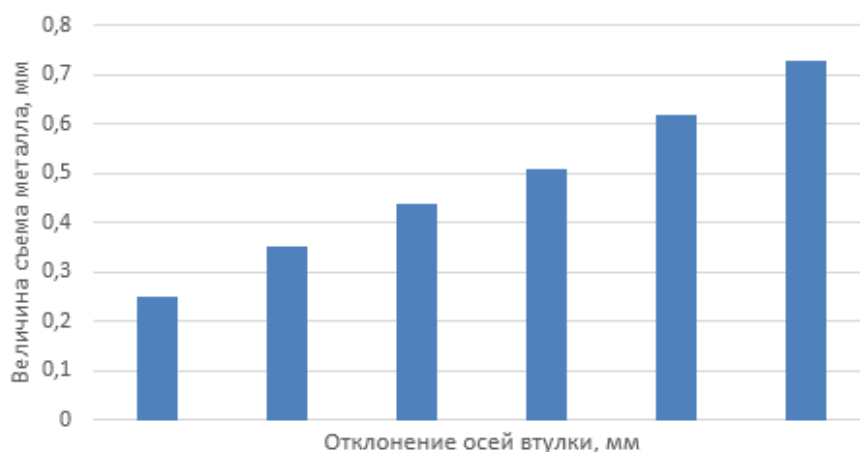


Рис. 1. - Зависимость величины смещения осей направляющей втулки для базирования инструмента по второму типу от величины съема металла.

По мере роста объемов наработки двигателя наблюдается минимальный износ направляющей втулки выпускных сопряжений с отклонением соосности образующих поверхностного слоя отверстия. Отклонение износа диаметра отверстия выпускных сопряжений в 1,5...2 раза больше, чем для впускных сопряжений, что объясняется отсутствием допуска осей втулок во втором случае.

Характеристика смещения седла выпускных сопряжений относительно осей направляющей втулки клапана двигателя А-41 показана на рис. 2.

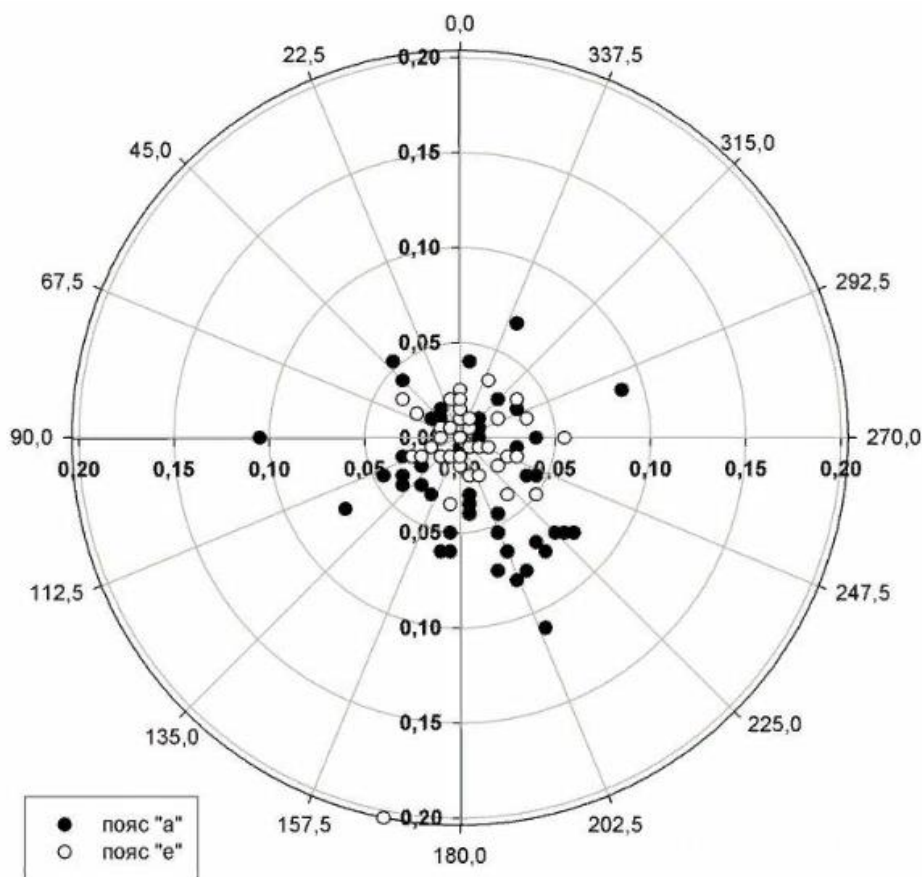


Рис. 2 – Направленный уровень смещения оси выпускных направляющих втулок (клапанной группы двигателя А-41),
(выделение черным цветом – смещение в верхнем поясе, белым цветом – в нижнем).

Искажение втулки (её нижней доли) в направлении оси коромысел характеризуется смещением оси в продольной плоскости сечения, на 190° - 220° в направлении оси коромысел – в поперечной плоскости. Наибольший уровень смещения – 0,2 мм.

Таким образом, приведены анализ ряда измерительных средств и средств устранения дефектов деталей клапанной группы и исследованы параметры износа деталей в процессе работы двигателя.

Список литературы

1. Мучкаева Г.М., Бирюков А.С. Повышение работоспособности клапанов газораспределительного механизма двигателей внутреннего сгорания // Актуальные вопросы в науке и практике: VI междунар. науч.- пр. конф. Самара: изд-во «Дендра», 2018. С. 54-58.
2. Косов В.И. Особенности расчета стержней при изгибе // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2003, №1. С.197.
3. Мучкаева Г.М. Исследование методов повышения точности измерений при наличии систематических погрешностей / Г.М. Мучкаева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – №6. – С. 152-154.

05.11.00

И.В. Нелин канд. техн. наук, Д.А. Охотников канд. техн. наук, В.В. Бухарева

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ДАТЧИК НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВОДИТЕЛЕМ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-82-84**

В статье рассматривается возможность применения маломощного радиолокационного датчика, закрепленного на ремне безопасности в автомобиле, с целью встраивания в автоматизированную систему контроля состояния водителя движущегося транспортного средства.

Ключевые слова: радиолокационный датчик, система контроля состояния водителя, безопасность вождения автомобиля.

Автоматизация человеческого труда все больше приходит сегодня в нашу жизнь. Все меньше современный человек занимается рутинным трудом и чаще встречаются рабочие места, где присутствует значимая доля вероятности появления нештатных ситуаций. Специальности, где речь идет о безопасности и здоровье людей очень часто связаны с транспортом и, несмотря на то, что попытки сделать беспилотный автомобиль все чаще встречаются в новостных сводках, водитель транспортного средства еще долго останется актуален на рынке труда. Однако это не значит, что системы помощи водителю не востребованы и не нужны. Системы навигации развиваются полным ходом, автомобиль уже давно сам контролирует свою работоспособность и особо важными становятся системы наблюдения за здоровьем и самочувствием водителя за рулем, о чем свидетельствует большое число публикаций по этой теме [1-5].

Машины уже научились поддерживать температуру и влажность в салоне, определять наличие алкогольных паров в дыхании водителя, однако до сих пор не подконтрольной остается деятельность головного мозга человека, управляющего транспортным средством. Это связано с тем, что системы электроэнцефалографии, обладающие наибольшей достоверностью при контроле деятельности головного мозга, требуют непосредственного контакта с головой водителя, а опыт показывает, что все контактные системы отвлекают внимание водителя и в конечном итоге не находят своего места на рынке [4].

Бесконтактные же системы на сегодняшний день не позволяют фиксировать сигналы головного мозга, но дают возможность наблюдать за деятельностью сердечно-сосудистой системы. Такие устройства могут быть основаны на принципах биорадиолокации [6] и дают возможность анализа траектории движения поверхности кожи человека, вызванной его дыханием и сердцебиением на дистанциях от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Существующие системы контроля состояния водителя

Одной из наиболее значимых задач наблюдения за состоянием водителя является предсказание момента его засыпания. Наиболее успешно эту задачу решают системы контроля кожно-гальванической реакции (КГР). Такие системы получили широкое распространение на поездах Российских железных дорог [1]. Такой прибор представляет браслет, который измеряет сопротивление кожного покрова человека. Такие системы зарекомендовали себя на протяжении длительного времени, так как КГР кожи человека изменяется за время перед тем, как человек заснет, достаточное для того, что подать сигнал тревоги. Но, как уже было сказано ранее, системы, требующие непосредственного контакта с кожей человека, не удобны для использования в повседневной жизни водителя.

Еще одной апробированной системой способной предсказывать засыпание человека является система видеонаблюдения микроперемещения зрачков глаза водителя. Замечено, что амплитуда микроперемещений зрачков человека снижается за определенное время до того момента, когда человек перестает реагировать на внешние фактора из-за засыпания[5]. Такая система хотя и не требует непосредственного контакта с телом человека, однако для того, чтобы зафиксировать амплитуду микроперемещений зрачка даже камеру с высоким разрешением необходимо разместить на достаточно небольшом расстоянии от глаза водителя, что также приводит к необходимости фиксации такой системы на теле водителя и он вынужден, например, одеть на себя специальную кепку с камерами, перед тем как сесть за руль.

Система бесконтактного мониторинга частоты сердцебиения водителя

Основным источником информации для анализа здоровья и психоэмоционального состояния человека является вариабельность сердечного ритма (ВСР) [7]. Не смотря на то, что основные алгоритмы обработки ВСР не содержат предсказательной компоненты по обнаружению засыпания человека за время достаточное для того, чтобы подать сигнал тревоги, бесконтактное наблюдение ВСР водителя не перестает быть одной из основных целей для разработчиков систем безопасности на транспорте.

Во-первых, анализ ВСР не ограничивается классическими алгоритмами обработки, и возможно, в ближайшее время появятся алгоритмы, позволяющие предсказывать засыпание водителя. Во-вторых, на той информации, которую на сегодняшний день возможно извлечь мгновенной частоты сердцебиения водителя, возможно построить системы профилактики дорожно-транспортных происшествий, связанные с переутомлённостью водителя либо, наоборот, с его пониженным порогом реакции на окружающую обстановку.

Системы, анализирующие положение век, наклона головы водителя или положения автотранспорта на дороге [3], хотя и не требуют непосредственного контакта с телом водителя, на практике срабатывают слишком поздно, так как человек может заснуть и с открытыми глазами и с не наклонённой головой, либо имеют большую вероятность ложных срабатываний.

Радиолокационный датчик регистрации частоты сердцебиения водителя

Подобный датчик был разработан в Центре сверхширокополосных технологий Московского авиационного института и представляет собой беспроводной и бесконтактный сенсор, который крепится на ремень безопасности водителя и следит за частотой его сердечного ритма и дыхания.

Датчик представляет собой радиолокатор сверхмалой мощности. Электромагнитное поле распространяется на дистанции не более 10 см, что позволяет детектировать движение грудной клетки водителя даже через толстую зимнюю одежду. Электромагнитное поле частотой 6.5 ГГц возмущается перемещением поверхности кожи человека, что регистрирует детектор и переносит на нулевую частоту. Такая схема позволяет использовать недорогие аналого-цифровые преобразователи чтобы перенести сигнал в цифровую область. Дальнейшая обработка происходит на микроконтроллере или на другом устройстве, сигнал на которое может быть передан посредством радиоканала небольшой дальности.

Всякий раз, когда уровень показателей физической активности водителя падает ниже заданных значений, датчик подает тревожный звуковой сигнал. Отслеживание показателей уровня усталости (бдительности) и их сравнение с заданными производится в соответствии с заложенными в датчике алгоритмами.



Рис. 1 – Радар для наблюдения за водителем

Подобные радиолокационные датчики могут располагаться не только на ремне безопасности водителя, но и в руле, а также в кресле. Обработку информации можно выполнять как непосредственно в самом датчике, так и на смартфоне, куда можно передать сигнал по радиоканалу. Это дает неограниченные возможности по дальнейшей работе с сигналом.

Заключение

Несмотря на присутствие на рынке приборов способных наблюдать за состоянием водителя, таких как система мониторинга КГР или видеокамер, наблюдающих за амплитудой микроперемещений зрачков водителя, все они не удовлетворяют потребностей большинства водителей в связи с необходимостью наличия непосредственного контакта с человеком. Одним из наиболее информативных источников информации о здоровье и психоэмоциональном состоянии водителя является его пульс, возможность регистрации которого дают радиолокационные датчики, встроенные в такие части транспортного средства как руль, сидение, ремень безопасности. В связи с этим в ближайшее время на рынке должны появиться системы, позволяющие бесконтактно контролировать состояние человека и предсказывать его засыпание.

Список литературы

1. Якименко А.В., Войнов Н.Н., Козырева Е.А. Устройства, предотвращающие засыпание водителей за рулем, как средство повышения надёжности водителей. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 5-3 (25-3). С. 177-181.
2. Ветров И.А., Шевалдин А.М. Телеметрическая система контроля уровня бодрствования человека-оператора. Патент на полезную модель RUS 121141 16.12.2010
3. Кравченко А.П., Локотко Б.Н., Морозов И.В. Система контроля и предупреждения водителя от засыпания. Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2010. № 4. С. 22-27.
4. Некрасова М.М. Изменения энцефалографических параметров и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма при проведении функциональных проб у водителей со стажем. Здоровье населения и среда обитания. 2016. № 7 (280). С. 28-30.
5. Гридин В.Н., Газов А.И., Труфанов М.И. Способ предупреждения засыпания водителя транспортного средства. патент на изобретение RUS 2413632 10.04.2009.
6. «Биорадиолокация» Под редакцией А.С. Бугаева, С.И. Ивашова, И.Я. Иммореева.
7. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Рябыкина Г.В. Современное состояние исследований по вариабельности сердечного ритма в России (по материалам международного симпозиума "компьютерная электрокардиография на рубеже столетий", москва, 27-30 апреля 1999 г). Вестник аритмологии. 1999. № 14. С. 71-75.

05.11.00

В.Х. Хуранов кан. техн. наук, **А.С. Ципинов**, **Х.К. Сасиков**, **А.М. Курашев**,
Л.В. Шогенова

ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, Valeriy-archi@mail.ru

**УЛУЧШЕННЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ОДНОСЛОЙНОЙ СТЕНОВОЙ ПАНЕЛИ ИЗ ПЕПЛУТОФОБЕТОНА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ КБР**

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-85-87

В статье проведен анализ ограждающих конструкции для крупнопанельных жилых домов, которые предназначены для природно-климатических условий Кабардино-Балкарской республики (КБР). Приведены теплотехнические показатели существующих стеновых панелей, которые не соответствуют современным требованиям норм. Авторами предлагается новое решение ограждающей стеновой конструкции на пористых заполнителях КБР. Представлены ее теплотехнические характеристики.

Ключевые слова: конструкционно-теплоизоляционный бетон, стеновая панель, жилой дом, крупнопанельное домостроение, энергосбережение.

В Кабардино-Балкарской республике до середины 1990-х годов массовое распространение получили типовые 9-ти этажные блок-секционные жилые дома. Наружная ограждающая конструкция выполнялась из однослойной керамзитобетонной стеновой панели плотностью $1300-1600 \text{ м}^3$ (220-300 мм - шагом 20 мм). Максимальное значение расчетного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_0=0,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. В целях использования более дешевого местного материала была принята новая панель из конструкционного плотностью $1700-1800 \text{ м}^3$ ($R_0=0,52-0,64 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

Указанные варианты не соответствуют нормам по тепловой защите зданий, так как приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 принимается из двух условий: комфортных - $R_0=1,03 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ и энергосбережения - $R_0=2,54 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. В условиях современных требований энергосбережения [1-3] разработка новых конструктивных решений стеновых панелей с улучшенными теплотехническими показателями с использованием местного сырья – задача актуальная.

Целью данного исследования является разработка однослойной наружной стеновой панели с использованием пористых материалов КБР (пенотуфобетон) для повышение расчетного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций R_0 до значений, не менее требуемых исходя из комфортных условий проживания.

По техническим требованиям к легким бетонам [4-7], конструкционно-теплоизоляционными являются бетоны марки D500-D1600. В зависимости от вида крупного пористого заполнителя их подразделяют на бетоны на искусственном или природном гравии и щебне.

Для получения эффективных легких бетонов плотностью $900-1500 \text{ кг}/\text{м}^3$ используются крупный и мелкий природные пористые заполнители из вулканического туфа, пемзы и пепла месторождений КБР. Известны промышленные запасы более 20 месторождений вулканического туфа и пепла из которых в четырех месторождениях добыча ведется и в настоящее время. Заюковский, Каменский и другие месторождения туфов составляют более 50 млн. м^3 , плотность туфов составляет $1,1-1,9 \text{ т}/\text{м}^3$, прочность от 3 до 61 МПа, пористость 17-46%. Запасы пемз и пемзовых щебеночно-песчаных смесей Герпегежского месторождения КБР составляют более 1000 тыс. м^3 , плотность $0,59-0,63 \text{ т}/\text{м}^3$, пористость 50-80%, прочность при сжатии 2,4-4,2 МПа. Запасы Кенженского месторождения вулканического пепла составляют 3500 тыс. м^3 , плотность $0,88-1,45 \text{ т}/\text{м}^3$, пористость 30-40% [4].

На заводе ЖБИ №2 треста «Каббалкпромстрой» были проведены опыты, путем обжига вулканического пепла во вращающейся печи получали щебень (пеностекло или перлит) с насыпной объемной массой порядка 400-450 кг/м³. На таком заполнителе в экспериментальном порядке получали конструкционно-теплоизоляционные бетоны марки 75-200 плотностью 1050-1550 кг/м³. Также экспериментальным путем подобраны составы пеплотуфобетона аналогичной плотности [4].

Для определения коэффициента теплопроводности легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона воспользуемся предложенными различными авторами формулами [4-6]:

$$\lambda_q = 0,0005\gamma_{б.сух} - 0,25 \quad (1)$$

Для практических расчетов коэффициента теплопроводности λ_q каменных материалов и легких бетонов на природных пористых заполнителях предложена формула:

$$\lambda_q = 0,046 + 0,16\gamma^2 \quad (2)$$

При объемной массе пеплотуфобетона и перлитобетона в сухом состоянии 1100 кг/м³ (1190 кг/м³ в воздушно-сухом состоянии) по формулам 1-2 получим:

$$\lambda_q = 0,0005 \cdot 1100 - 0,25 = 0,3 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_q = 0,046 + 0,16 \cdot 1,19^2 = 0,27 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}.$$

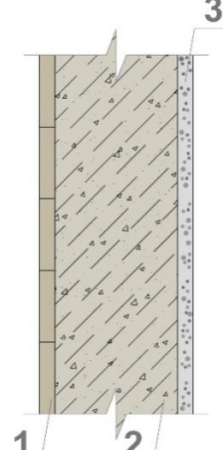
Результаты испытаний образцов плиток размером 150x150x25мм в количестве четырех (для одной серии) изготовленных из туфо- и пеплобетон, керамзито- и перлитобетонот отличаются от теоретически вычисленных по формулам 1 и 2 на 10-14% [4].

В качестве легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона выберем пеплотуфобетон с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,27 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, вычисленный по формуле 2.

Для определения расчетного сопротивления теплопередаче по формуле 3 (СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий) воспользуемся характеристиками предлагаемой стеновой панели (Табл. 1.).

$$R_0^{mp} = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_x}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (3)$$

Таблица 1. Характеристики слоев стеновой панели

	Материал	Толщина, δ , м	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м [°] С)
	1	2	3
	Наружный защитный слой из туфовых плит	0,02	0,64
	Конструкционно-теплоизоляционный бетон (пеплотуфобетон)	0,26	0,27
	Штукатурка цементно-песчаная	0,02	0,76

$$R_0^{mp} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,67} + \frac{0,26}{0,27} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} = 1,18 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт},$$

что больше требуемого расчетного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_0 = 1,03 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ определяемых исходя из комфортных условий. Минимально возможная толщина панели при указанном сопротивлении теплопередаче составляет 260 мм.

Выводы

Существующие решения однослойных стеновых панелей толщиной 220-300мм крупнопанельных жилых домов КБР не соответствуют нормам теплозащиты зданий ($R_0=0,52-0,67\text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$).

Разработано новое конструктивное решение однослойной стеновой панели с на пористых заполнителях КБР. В качестве наружного защитного слоя запроектированы туфовые плиты толщиной 20 мм (Лечинкайское месторождение). Данная конструкция соответствует нормам теплозащиты по комфортным условиям при толщине панели 260 мм и более (возможно дальнейшее использование 3-х типоразмеров стеновых опалубочных кассет ДСК г.Нальчика).

Однослойные панели с использованием местного сырья не соответствуют нормам энергосбережения ($R_0=2,54\text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$). Для решения данного вопроса возможно применение комбинированных конструктивных схем: трехслойные панели с бетонами на местных заполнителях и эффективным утеплением или однослойные панели с последующим наружным утеплением.

Список литературы

1. Беляев В.С., Ахмяров Т.А. Энергоэффективность крупнопанельных зданий // Жилищное строительство. 2013. № 4. С. 47–49.
2. Бжахов М.И., Карданов Л.Т., Кучуков М.А., Антипова Е.А., Люев А.Х. Повышение теплозащитных качеств наружной ограждающей конструкции жилого дома типовой серии // Инженерный вестник Дона, 2016, №2URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3544.
3. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсоэнергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1. Ресурсоэнергосбережение на стадии производства строительных материалов, стеновых изделий и ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 12–21.
4. Ахматов М.А. Легкие бетоны и железобетонные конструкции на заполнителях из каменных отходов и рыхлых пористых пород. – Нальчик: КБГСХА, 2010. – С.10-12, 51.
5. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс. 2011. – С. 308.
6. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008 – 206 с.
7. KosmatkaS., KerkoffB., HootonR. Design and control of Concrete Mixtures. The Guideto Application, Method sand Materials. Eight Canadian Edition // Cement Association of Canada. Ottawa. 2011.Pp. 35–68.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.00

С.В. Бочкарев д-р техн. наук, А.Ю. Глухов, И.И. Аликина

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, bochkarev@msa.pstu.ru,

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-88-90**

Предложен метод расчета потерь низкопотенциальной тепловой энергии на предприятии, специализирующемся на выпуске строительных материалов. Рассмотрен подход к оценке энергетического потенциала тепловых потоков на предприятии. Построены тепловые потоки на разных участках предприятия.

Ключевые слова: *энергетический мониторинг, энергетические данные, тепловая энергия, компрессор, устройство удаленной телеметрии и управления, энергоэффективность.*

Введение. В настоящее время большой интерес представляют процессы вторичного использования низкопотенциальной тепловой энергии (НПТЭ) технологических участков, так как ее объем велик, а степень утилизации низкая. Большое количество НПТЭ теряется в технологических машинах и промышленных агрегатах, использующих тепловую энергию воды или пара в энергетических установках, пароконденсатных системах, градирнях, системах охлаждения оборудования [1]. Низкотемпературные энергетические ресурсы имеют, как правило, низкий потенциал, так как они являются неотъемлемой частью технологического процесса, и этим определяется сложность их использования. Существуют различные подходы к использованию НПТЭ, в частности для производства электрической и тепловой энергии [2, 3] теплоснабжения зданий [4]. Для решения задачи необходимо установить основные источники низкопотенциальной тепловой энергии, а также определить количественные характеристики и разработать методы оценки и расчета этих источников.

Анализ основных источников НПТЭ. Рассмотрим типовую структуру предприятия, изготавливающего строительные материалы. Предприятие содержит большое количество цехов, которые делятся на два типа – основные и вспомогательные.

Основными цехами являются непосредственно те, в которых производят строительные материалы. К вспомогательным относятся те, в которых производится выработка пара, горячей воды, электричества.

На территории предприятия находится две котельных: паровая и водогрейная. Учет выработки обеих котельных ведется в Гкал. Распределение тепловой энергии на технологические процессы по подразделениям предприятия можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 – Расход тепловой энергии по подразделениям за один год

Наименование подразделения		Гкал
1	Производство № 1	65 410
2	Производство № 2	15 870
3	Участок плитки	1 237
Всего:	82 517	

Пар используется в технологическом процессе для пропарки газобетона и сборного железобетона на первом, втором производствах и участке облицовочной плитки. Не большое количество пара используется в деаэраторах паровой и водогрейной котельных для подготовки воды. После производства часть нагретой воды охлаждается и утилизируется.

На производстве имеется компрессорная станция для нагнетания воздуха, при ее работе выделяется большое количество тепловой энергии, которая теряется в системе охлаждения.

В состав компрессорной станции входит три больших и три маленьких компрессора. Для охлаждения компрессоров используется охлаждающая жидкость, которая протекает по компрессорам последовательно и уходит на охлаждение. После этапа охлаждения жидкость уходит в бак холодной воды, после чего снова попадает на охлаждения компрессоров.

В результате анализа предприятия было выявлено, что существует два основных источника тепловой эмиссии:

- При производстве
- С охлаждения компрессорной станции

Методика расчета НПТЭ. Количество тепловой энергии (рис.1), теряемой при производстве ΔQ , рассчитывается следующим образом:

$$\Delta Q = Q - \sum_{i=1}^N Q_i + \sum_{j=1}^n q_j, \quad (1)$$

где Q – общая тепловая энергия вырабатываемая на предприятии, Q_i и q_j – тепловая энергия, потребляемая крупными и малыми потребителями тепловой энергии.

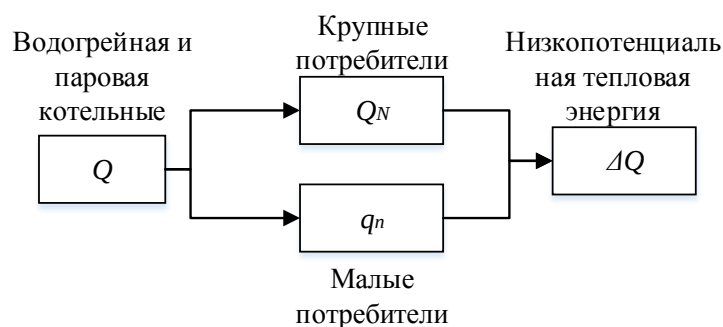


Рис. 1 – Поток тепловой энергии на производстве

Для определения количества НПТЭ при работе компрессорной станции рассмотрим структуру источника тепловой энергии. Представленную на рисунке 2.



Рис. 2 – Поток тепловой энергии при работе компрессоров

Для определения Q – низкопотенциальной тепловой энергии, необходимо рассчитать Q_k – количество теплоты, выделяемой при работе группы компрессоров, или использовать формулу расчета теплоты Q_p по разнице температур на входе и выходе в группу компрессоров охлаждающей жидкости и её количества. Эти показатели будут равны между собой [5].

Общее количество тепловой энергии Q_k , произведенной компрессорной станцией, определяется по формуле

$$Q = Q_k = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2)$$

где q_i – теплота выделяема при работе одного компрессора.

Для расчета Q_p необходимо рассчитать массовый расход охлаждающей жидкости m по формуле:

$$m = V \cdot p, \quad (3)$$

где V – массовый расход, p – плотность воды.

$$Q_p = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1), \quad (4)$$

где c – удельная теплоемкость охлаждающей жидкости.

Основные результаты мониторинга низкопотенциальных тепловых потоков системы охлаждения компрессорной станции показаны в таблице 2 [5].

Таблица 2 – Результаты мониторинга низкопотенциальных тепловых потоков системы охлаждения компрессорной станции.

Дата	Средняя температура на выходе (t_2) за сутки, °C	Средняя температура на входе (t_1) за сутки, °C	Разность температур $t_2 - t_1$, °C	Количество тепловой энергии за сутки, Гкал
08.11.2016	23,2	10,4	12,8	7,7226
09.11.2016	24,2	9,8	14,4	8,6680
10.11.2016	23,9	9,6	14,3	8,5531
11.11.2016	22,2	7,3	14,9	8,9377
12.11.2016	26,6	11,5	15,1	9,0264

По результатам полученных данных низкопотенциальных тепловых потоков производственной части построена таблица 3.

Таблица 3 – Результаты расчета низкопотенциальных тепловых потоков производственной части.

Дата	Количество тепловой энергии, Гкал
15.03.2017	1,2639
16.03.2017	1,0335
17.03.2017	1,0081
18.03.2017	1,0401
19.03.2017	1,2319
20.03.2017	1,0339

Выводы.

Зная суммарное количество тепловой энергии, выбрасываемое в окружающую среду за сутки, и себестоимость 1 Гкал, можно рассчитать средние потери тепла за год в денежном эквиваленте и оценить целесообразность установки теплообменного оборудования или тепловых насосов.

Список литературы

1. Михолян Н.Н. Экспериментальные исследования по эффективности использования низкопотенциальной тепловой энергии // Труды Братского государственного университета. – 2017. – Т. 1. – С. 89-95
2. Стребков Д.С., Сорокодун Е.Д. Использование низкопотенциальной энергии для производства электрической и тепловой энергии // Труды международной научно-технической конференции энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2012. – Т. 4. – С. 3-11.
3. Гатина Р.З., Гауфров А.М. Способ утилизации тепловых отходов в промышленности с температурой в 35С в осенне-весенний период времени // Форум молодых ученых. – 2017. – №5. – С. 480-483.
4. Харченко В.В., Сычев А.О. Организация теплоснабжения малоэтажных зданий с использованием низкопотенциальной теплоты открытых водотоков // Вестник аграрной науки Дона. – 2015. – С.58-63
5. Исаев Л.К. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. – М.: НЦ ЭНАС. – 2006. – 56 С.

05.13.00

С.В. Бочкарев д-р техн. наук, Р.Р. Хисамов

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, bochkarev@msa.pstu.ru, msa@msa.pstu.ru

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-91-94

В статье рассмотрена надежность релейной защиты и автоматики систем электроснабжения подстанций филиала ОАО «МРСК Урала» - «Пермэнерго», а также проанализированы различные методы расчета оценки надежности. Предложен метод оценки надежности релейной защиты и автоматики с учетом, полноценного использования релейной защиты и автоматики по стороне 110 кВ и 10 кВ.

Ключевые слова: надежность, релейная защита и автоматика, расчет.

Надежность аппаратной части какого-либо устройства, в первую очередь определяется количеством и качеством использованных на его изготовление комплектующих изделий.

Из опыта использования микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики (МП УРЗА) филиала «МРСК Урала» - «Пермэнерго», с точки зрения способности выполнять требуемые функции, как того требует ГОСТ 27.002 – 89 [1] видно, что данные устройства являются достаточно надежными, потому как МП УРЗА не было способно выполнять требуемые функции из-за внутреннего повреждения микропроцессора.

Анализ оценки надежности релейной защиты показал, что, например, за рубежом она оценивается по трем показателям [2]:

Надежность срабатывания (Dependability) D:

$$D = \frac{N_c}{N_c + N_f},$$

Надежность несрабатывания (Security) S:

$$S = \frac{N_c}{N_c + N_u},$$

Общая надежность (Reliability):

$$R = \frac{N_c}{N_c + (N_f + N_u)},$$

где N_c - число правильных срабатываний защиты; N_f - число отказов в срабатывании; N_u - число ложных срабатываний.

Из формул видно, что они не отображают показатели надежности релейной защиты, поскольку не учитывают повреждения, которые приводят к неправильной работе.

В России оценка надежности не предусмотрена, так как она рассчитывается на основании инструкции РД 34.35.516-89 [3], в которой указаны основные показатели работы устройств РЗА по проценту их правильной работы, рассчитываемая по формуле:

$$K = \frac{N_{PS}}{N_{PS} + N_{IS} + N_{LS} + N_{OS}} \cdot 100\%,$$

где N_{PS} - число правильных срабатываний; N_{IS} - число излишних срабатываний; N_{LS} - число ложных срабатываний; N_{OS} - число отказов срабатывания.

Из представленной формулы видно, что она соответствует выше приведенным и не способна также корректно учитывать надежность РЗА.

Для оценки надежности объектов можно использовать метод свёртки (эквивалентирования), состоящий в преобразовании исследуемых сложных объектов со смешанным соединением элементов в более простые схемы.

В эту схему в зависимости от классического метода расчета надежности, добавлено более полноценное использование релейной защиты и автоматики по стороне 110 кВ и 10 кВ, а также учитывается фактор эксплуатации персоналом. Данные изменения представлены на рисунке 1.

При расчёте надежности системы электроснабжения, например, представленной на рисунке 1, принимаются следующие допущения:

1. Релейная защита работает безотказно и селективно.
2. Система шин на подстанциях вполне надёжная.
3. При составлении схемы замещения выделяют вход и выход системы.
4. В качестве входа системы берется точка, в которой соединены все источники.
5. В качестве выхода берется секция шин.

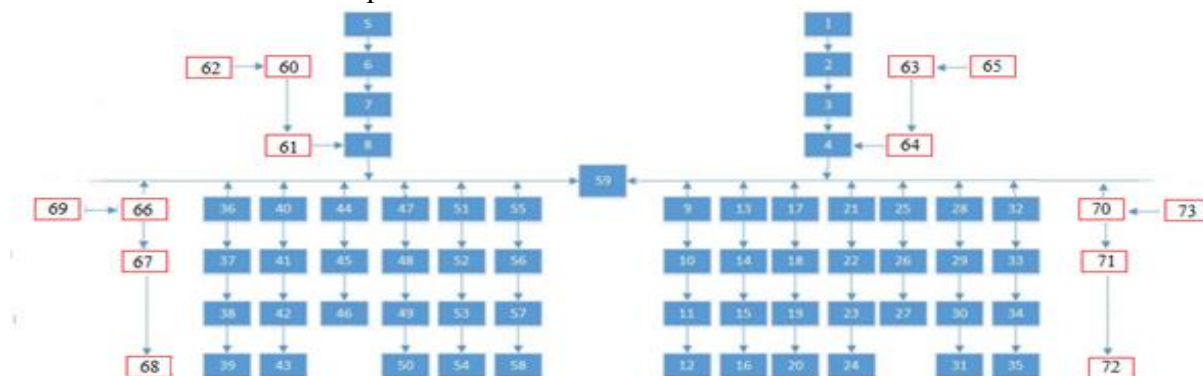


Рисунок 1 - Исходная схема замещения электропитающей системы подстанции

В таблице 1 представлены справочные данные.

Таблица 1 – Справочные данные для расчета надежности

Элементы системы	Номер элемента	$U_{ном,кВ}$	$\lambda, год^{-1}$	$\mu, год^{-1}$
Трансформатор	4,8	110	--	--
	12,16,20,24,27,31,35,34,43,46,50,54,58	10	--	--
Шина	2,6	110	--	--
Разъединитель	59	10	--	--
Релейная защита и автоматика	60,61,63,64,	110	--	--
	11,15,19,23,30,34,38,42,49,55,57,66,67,68,70,71,72	10	--	--
Выключатель	3, 7	110	--	--
	10, 14, 18, 22,29, 35, 37, 41, 48, 52, 56	10	--	--
Линия	1, 5	110	--	--
	9, 13, 17, 21, 25, 28, 32, 36, 40, 44, 47, 51, 55	10	--	--
Обслуживающий персонал	62, 65	110	--	--
	69, 73	10	--	--

Первый этап. Указанная схема (рис. 1) может быть заменена схемой замещения (рис. 2), в которой каждый элемент входит своими интенсивностями отказов λ_i и восстановлений μ_i .

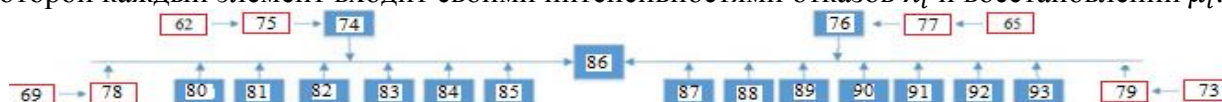


Рисунок 2 – Схема первого этапа

- интенсивность отказа системы:

$$\lambda_{74} = \lambda_{76} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_{75} + \lambda_{62};$$

$$\lambda_{75} = \lambda_{77} = \lambda_{60} + \lambda_{61} + \lambda_{62} + \lambda_{65};$$

$$\lambda_{78} = \lambda_{79} = \lambda_{66} + \lambda_{67} + \lambda_{68} + \lambda_{69} + \lambda_{73};$$

$$\lambda_{75} = \lambda_{77} = \lambda_{60} + \lambda_{61};$$

Ячейки 80-93 преобразуется по тому же принципу.

- интенсивность восстановления системы:

$$\mu_{74} = \mu_{76} = \frac{\lambda_{74}}{\frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5}};$$

$$\mu_{78} = \frac{\lambda_{78}}{\frac{\lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12}}{\mu_9 + \mu_{10} + \mu_{11} + \mu_{12}}};$$

$$\mu_{78} = \mu_{80} = \mu_{82} = \mu_{83} = \mu_{84} = \mu_{85} = \mu_{87} = \mu_{88} = \mu_{89} = \mu_{90} = \mu_{91} = \mu_{92} = \mu_{93} = \mu_{79};$$

Второй этап. Объединяем параллельное и последовательное соединение элементов, в эквивалентное преобразование (рис. 3):

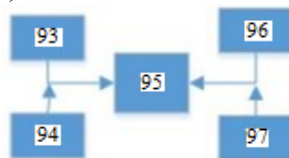


Рисунок 3 – Схема второго этапа

- интенсивность отказа системы:

$$\lambda_{74} = \lambda_{93};$$

$$\lambda_{76} = \lambda_{96};$$

$$\lambda_{86} = \lambda_{95};$$

$$\lambda_{94} = \lambda_{97};$$

$$\lambda_{94} = \frac{(\lambda_{78} \cdot \lambda_{80} \cdot \lambda_{81} \cdot \lambda_{82} \cdot \lambda_{83} \cdot \lambda_{84} \cdot \lambda_{85})(\mu_{78} \cdot \mu_{80} \cdot \mu_{81} \cdot \mu_{82} \cdot \mu_{83} \cdot \mu_{84} \cdot \mu_{85})}{\mu_{78} \cdot \mu_{80} \cdot \mu_{81} \cdot \mu_{82} \cdot \mu_{83} \cdot \mu_{84} \cdot \mu_{85}};$$

- интенсивность восстановления системы:

$$\mu_{94} = (\mu_{78} + \mu_{80} + \mu_{81} + \mu_{82} + \mu_{83} + \mu_{84} + \mu_{85});$$

$$\mu_{94} = \mu_{97};$$

Третий этап

После двух этапов эквалентирования имеется возможность минимизировать схему, объединив параллельно и последовательно соединенный элементы в эквивалентные (рис. 4)



Рисунок 4 – Схема третьей этапа

Производим эквивалентное преобразование

$$\lambda_{98} = \frac{(\lambda_{85} \cdot \lambda_{96})(\mu_{85} + \mu_{96})}{\mu_{85} \cdot \mu_{96}};$$

$$\mu_{98} = \mu_{85} + \mu_{96};$$

$$\lambda_{98} = \lambda_{100};$$

$$\mu_{98} = \mu_{100};$$

$$\lambda_{99} = \lambda_{95};$$

Заключительный этап

Объединяя последовательно соединённые элементы 81,82,83, получим заключительную схему (рис. 5).



Рисунок 5 – Схема заключительного этапа

$$\lambda_{101} = (\lambda_{98} + \lambda_{99} + \lambda_{100});$$

$$\mu_{101} = \frac{\lambda_{101}}{\frac{\lambda_{98} + \lambda_{99} + \lambda_{100}}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}};$$

Интенсивность отказов λ_{101} и интенсивность восстановления μ_{101} являются искомыми и определяют интенсивность отказов λ_c и восстановления μ_c всей рассматриваемой системы:

1. Среднее время безотказной работы $T_o = \frac{1}{\lambda_c}$;
2. Среднее время восстановления $T_o = \frac{1}{\mu_c}$;
3. Вероятность безотказной работы системы за определенный интервал времени t
 $P(t) = \exp[-\lambda_c t]$;
4. Коэффициент готовности системы

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_B};$$

По значению коэффициента готовности системы можно судить о работоспособности проектируемого объекта. Если результат коэффициента готовности в районе 98-99%, то данную подстанцию можно считать надежной, т.е. способной выполнить требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонтов.

Использование предлагаемой методики оценки надежности показывает, что точность расчета надежности МП УРЗА выше расчета для ЭМ, так как учитывает повреждения, релейную защиту сторон 110 кВ и 10 кВ, а также человеческий фактор.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002 – 89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1989 – 11 – 15. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
2. Moxley, R. Analyze Relay Fault Data to Improve Service Reliability. [http:// www.selinc.com](http://www.selinc.com).
3. РД 34.35.516 – 89. Инструкция по учету и оценки работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистем. – М.: Союзтехэнерго. – 1990.
4. Бочкарев С.В., Цаплин А.И., Схиртладзе А.Г. Диагностика и надежность автоматизированных технологических систем: учебное пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 616 с.
5. Нудельман Г.С., Шалин А.И. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности. – Новости электротехники, 2008, №3(51).

05.13.12

Е.В. Галкина

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве
Москва, GalkinaEV@mgsu.ru

АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-95-97

В работе проведен анализ существующих инструментов верификации проектной документации; подробно описаны функционал, достоинства и недостатки каждого решения; сделаны выводы о возможности и целесообразности использования того или иного приложения.

Ключевые слова: *информационная модель, BIM, верификация проектной документации.*

Согласно Градостроительному Кодексу Российской Федерации перед началом строительства проектная документация объектов капитального строительства и результаты инженерных изысканий, выполненных для подготовки такой проектной документации, должны пройти процедуру экспертизы. [1]

Как до недавнего времени, так и сейчас основными носителями строительной информации, поступающими на экспертизу, являются бумажные чертежи, а также электронные чертежи, выполненные в CAD-приложениях. Их проверка выполняется специалистами вручную, что делает этот процесс трудоемким, затянутым во времени, а также подверженным влиянию человеческого фактора. В последние годы сформировался новый подход к представлению строительной информации – информационное моделирование (англ. Building Information Modeling (BIM)). Появление иной формы представления данных о проектируемом здании подтолкнуло специалистов строительной отрасли и к новому подходу для проверки проектной документации. В настоящее время начали появляться исследования, касающиеся разработки систем проверки информационных моделей, которые позволяют автоматизировать то, что ранее специалистом выполнялось вручную. В данной статье будет проанализирован ряд существующих на данный момент подобных приложений и сделаны выводы о целесообразности их использования. Каждый инструмент будет освещен в разной степени, поскольку информация о большинстве платформ распространяется разработчиками ограниченно. [2, 3]

Первый рассматриваемый инструмент носит название Solibri Model Checker (SMC). SMC – это флагманский продукт финляндской компании Solibri. На данный момент Solibri является структурным подразделением компании Nemetschek и специализируется на разработке готовых инструментов для верификации информационных моделей.

SMC представляет из себя программную платформу на базе языка Java и работает IFC моделями, а также поддерживает импорт моделей напрямую из ArchiCAD. SMC, как и многие подобные инструменты, позволяет объединять модели, созданные в разных частях проекта и приложениях.

Функционал SMC по проверке моделей включает в себя: проверку на коллизии с учетом типа компонентов; обнаружение недостатков конструкции и отсутствующих элементов; проверку доступности здания для лиц с ограниченными возможностями здоровья; проверку путей эвакуации здания; классификацию проектных проблем на три группы по степени серьезности; сравнение версий модели. [4]

Правила могут параметрически меняться с помощью их табличного представления. Однако, новые правила могут добавляться в Java при помощи интерфейса программирования SMC (англ. Application Programming Interface (API)), который не является общедоступным. [5]

Для представления результатов проверки SMC поддерживает необходимый набор возможностей: выделение проблемных элементов на 3D-модели; трехмерная навигация с режимом обхода модели; инструменты для нанесения разметки; вычисление размеров, площадей и объемов; настраиваемые шаблоны отчетов. Также Solibri позволяет создавать презентации, которые можно экспортировать в форматы PDF, RTF и Excel или просматривать с помощью продукта Solibri Model Viewer. [4]

Autodesk NavisWorks – инструмент, который по функционалу можно сравнить с SMC. Семейство NavisWorks состоит из двух программных продуктов: Manage, предназначенного для моделирования и контрольного тестирования проектов, и Simulate, предназначенного для моделирования и проверки проектов. Manage обладает наиболее полным перечнем выполняемых функций: коллективная работа над проектом; объединение проектных данных и данных конструирования в рамках одной модели; выявление и управление коллизиями и пересечениями; моделирование и визуализация в 5D планов-графиков строительных работ и логистики; инструменты количественного анализа. [6]

SMC и NavisWorks на данный момент являются одними из немногих существующих законченных коммерческих тиражируемых решений по верификации информационных моделей. Однако данные платформы автоматизируют универсальные проверки и не могут полноценно удовлетворить все потребности органа экспертизы. Существенным препятствием для более активного внедрения платформы Solibri Model Checker является необходимость локализации программы для России.

Одной из крупнейших разработок в области верификации информационных моделей стал проект CORENET (CONstruction and Real Estate NETwork), возглавляемый Министерством национального развития Сингапура.

Согласно законодательству Сингапура, все проекты площадью свыше 5 тыс.м², независимо от формы собственности и финансирования, поступают на экспертизу за разрешением на строительство исключительно в виде информационной модели. Проектной организации требуется зарегистрироваться в системе, после чего проектировщики могут производить предварительную оценку своих моделей в любое время. Обратная связь осуществляется в виде отчетов и визуально через программу просмотра трехмерных макетов. Система позволяет выносить на обсуждение проблемные вопросы и запрашивать разрешения на отступления от норм. [5]

CORENET состоит из четырех модулей: e-Submission управляет действиями по выдаче разрешений на строительство; e-Info предоставляет консультативную информацию для различных отделов, связанных со строительством; e-Catalogue содержит информацию о строительных материалах, продуктах, кадрах и услугах, установках и оборудовании и их поставщиках; e-PlanCheck является модулем проверки документации. [7]

Подсистема e-PlanCheck включает в себя два направления: проверка объемно-планировочных требований к зданию и проверка правил для инженерных систем здания. Правила, используемые в CORENET, жестко закодированы на языке программирования. E-PlanCheck позволяет генерировать отчеты со ссылкой на правило источника, которое применялось при проверке и поддерживает различные форматы отчетности: HTML, Word, PDF, а также графический формат. [5]

С октября 2016 года для архитектурных проектов и с октября 2017 года для проектов инженерных сетей запущен режим, позволяющий загружать на экспертизу файлы в исходных форматах BIM-программ, без преобразования в IFC. Такой подход принципиально выделяет CORENET среди других подобных решений, которые работают исключительно с IFC-форматом, что часто приводит к потере или искажению проектных данных в результате переформатирования. [7]

Ещё один крупный проект SMARTcodes был запущен в 2006 году Советом по международным нормам (англ. International Code Council (ICC)), американской организацией-разработчиком строительных норм. Изначально ICC предполагали адаптацию подходов, разработанных Сингапуром, к нормативной базе США. Однако в процессе рассмотрения этой возможности были выявлены существенные различия в системах стандартизации этих стран. Так, ICC в США – это неправительственная некоммерческая организация, которая разрабатывает модельные кодексы для принятия государственными и местными административно-территориальными единицами, и не имеет контроля над содержанием своей нормативной продукции после ее принятия. Каждый штат и многие округа и муниципалитеты США создают локализованные строительные нормы. Использование сингапурских разработок, ориентированных на единый для всей страны свод нормативов и стандартов, с учетом многочисленности местного законодательства имело бы ряд сложностей.

Для решения этой проблемы специалистами проекта SMARTcodes был разработан иной подход, который выделил в процессе обработки строительных норм два этапа: определение структуры документа, а затем выделение понятий. [8]

В результате изучения вышеописанных решений были сформулированы следующие выводы:

1. Платформы SMC и NavisWorks могут применяться в проектных организациях для выполнения проверок корректности BIM-модели в ходе проектирования.

2. Решения, разработанные в Сингапуре и США, должны стать прототипом российской системы экспертизы информационных моделей, адаптированной к системе стандартизации нашей страны.

Именно поэтому данное исследование планируется продолжить в направлении более глубокого изучения нормативной базы России в области строительства и возможностей построения на её основе соответствующей системы верификации.

Список литературы

1. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 23.04.2018)
2. Галкина Е.В. Перспективы использования систем проверки информационных моделей в России / Е.В. Галкина // Научный журнал «Научное обозрение» – 2017. – №21. – с. 159-161.
3. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. - 2016. - №5.- с. 28-31.
4. Официальный сайт Solibri [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solibri.com> (дата обращения: 8.06.2018)
5. Eastman C., Lee J.-M., Jeong Y.-S., Lee J.-K. Automatic rule-based checking of building designs // Automation in Construction. - 2009.-№18.-p. 1011-1013.
6. Официальный сайт Autodesk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/navisworks/> (дата обращения: 8.06.2018)
7. Официальный сайт CORENET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.corenet.gov.sg/> (дата обращения: 8.06.2018)
8. Нисбет Н., Серых А. Эффективная автоматизация проверки строительных решений на соответствие строительным нормам // Экспресс-информ. - 2010. - № 11(89). - с. 30-35.

05.13.00

А.Ю. Глухов, С.В. Бочкарев д-р техн. наук

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, bochkarev@msa.pstu.ru,

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-98-101

Предложена структура информационных потоков системы мониторинга тепловой энергии. Предложен алгоритм работы системы мониторинга тепловой энергии. Разработана архитектура системы мониторинга и управления тепловой энергией на предприятии. Система может быть интегрирована в комплексные информационные платформы для мониторинга и управления тепловой энергией предприятия.

Ключевые слова: *энергетический мониторинг, энергетические данные, тепловая энергия, компрессор, устройство удаленной телеметрии и управления, энергоэффективность.*

Введение. Рациональное использование энергоресурсов, разработка, а также внедрение энергосберегающих технологий являются важным направлением в развитии промышленности и повышения качества продукции [1]. Большой интерес представляют процессы вторичного использования низкопотенциальной тепловой энергии (НПТЭ) технологических участков, так как ее объем велик. Учитывая, что низкопотенциальное тепло обладает значительной энергией, поэтому его утилизация является важной научно технической задачей [2, 3]. Сбережение энергоресурсов, на основе использования низкопотенциальной тепловой энергии, приводит к снижению затрат на производстве и снижению выбросов отравляющих веществ в окружающую среду. В связи с этим, разработка системы мониторинга и управления НПТЭ, позволяющая повысить эффективное использование низкопотенциального тепла [4].

Разработка системы мониторинга и управления низкопотенциальной тепловой энергией. Подход к разработке данной системы требует взаимосвязанного рассмотрения процессов сбора, передачи, обработки, анализа данных, наглядного визуального представления данных о потреблении ресурсов.

Структура данных с информационными потоками изображена на рис.1. Данные энергетических параметров предприятия в режиме *online* поступают на сервер (локальный на предприятии), где обрабатываются в удобный графический вид и становятся доступными для аналитической работы с ними.

Данная структура состоит из трех частей:

- 1) Датчики и исполнительные механизмы, необходимые для измерений потребления энергетических ресурсов, определения положений регуляторов, и подключенные к контроллеру (средство преобразования данных);
- 2) Базы данных, линии связи (LAN), измерительно-вычислительный комплекс. Измерительно-вычислительный комплекс занимается, фильтрацией данных, получением различных статистик, определением сезонностей выработки низкопотенциальной тепловой энергии, и составлением прогноза на потребление тепловой энергии;
- 3) Автоматизированное рабочее место в отделе главного энергетика, который осуществляет контроль за выработкой и потреблением тепловой энергии на предприятии на основе структурированных в измерительно вычислительном комплексе данных.

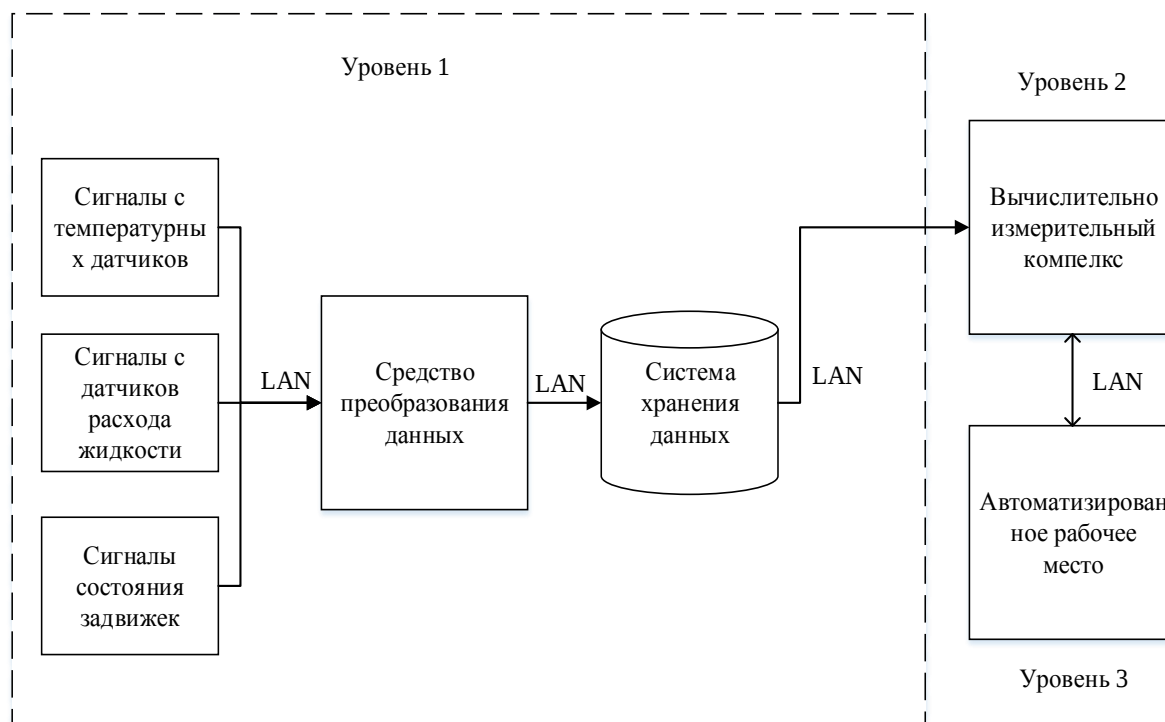


Рис. 1 – Структура данных информационной системы

Сочетание технологических данных и данных о потреблении, генерации тепловой энергии, а также выделяемой низкопотенциальной тепловой энергии позволяет персоналу оценить производительность различных частей предприятия, обрабатывать, использовать данные тепловой энергии и оптимизировать его затраты в целом.

Алгоритм работы информационной системы. Алгоритм предназначен для расчета параметров потребления энергоресурсов, выработки тепловой энергии и определения количества низкопотенциальной тепловой энергии. Для работы модели необходимо выбрать нужный узел или объект системы, а также входные данные такие как температура, давление, массовый расход жидкости. Алгоритм представлен на рис. 2. В результате реализации алгоритма будут получены таблицы и графики, содержащие сведения о статистике потребления энергоресурсов, выявленных сезонностях в выработке и потреблении тепловой энергии и получении прогноза о потреблении энергоресурсов.

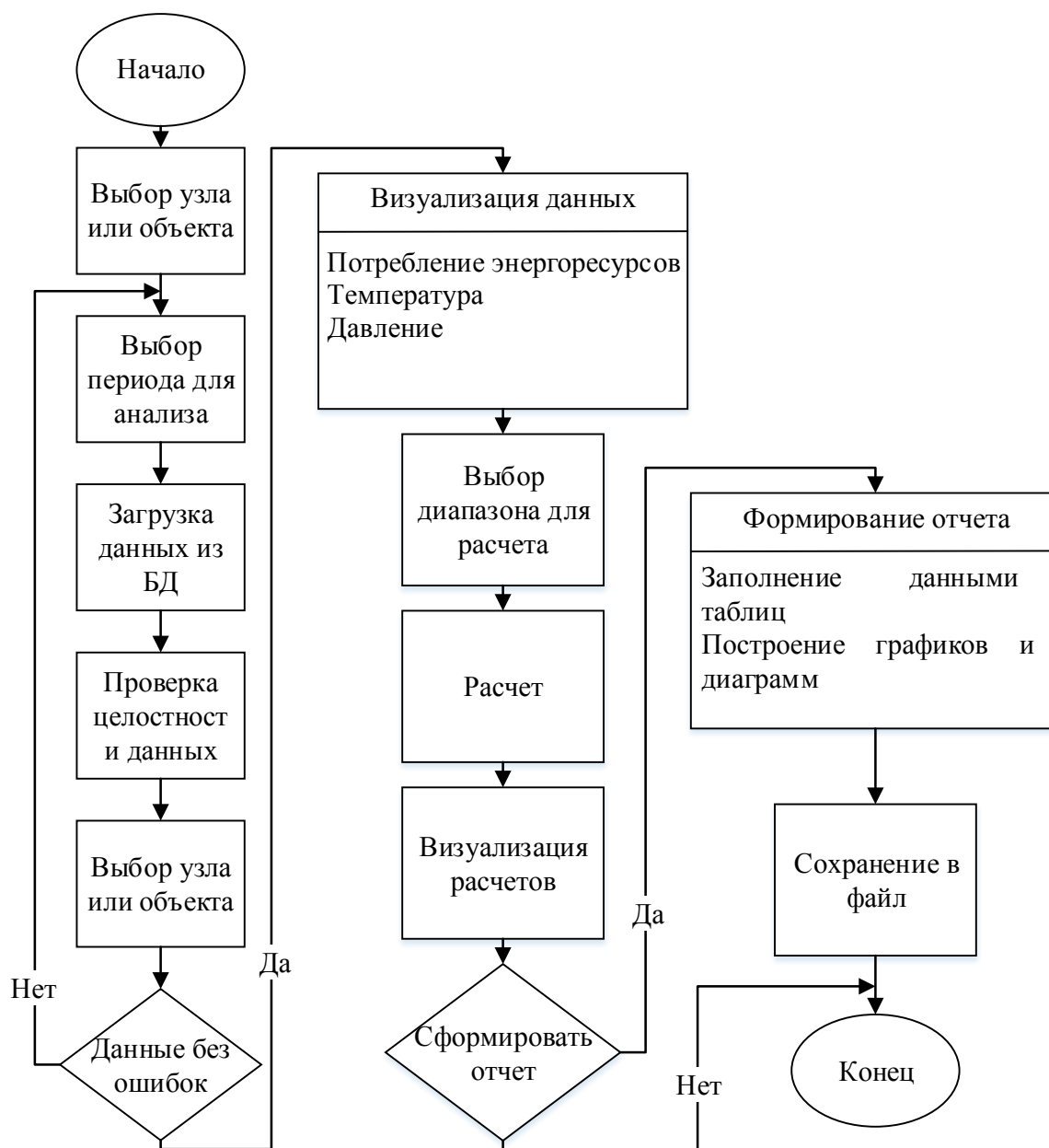


Рис. 2 – Алгоритм работы системы

Блок «Расчет» включает в себя следующие функции:

- 1) Фильтрация данных.
- 2) Получение статистических параметров (средние, минимальные, максимальные затраты энергоресурсов, дисперсия распределения затрат на энергоресурсы, составление гистограмм) [5].
- 3) Получение зависимости затрат на энергоресурсы в виде регрессии.
- 4) Выявление сезонности выработки уровня низкопотенциальной тепловой энергии.
- 5) Получение прогноза на потребление энергоресурсов.

Результаты. Создание системы мониторинга и управления низкопотенциальной тепловой энергией позволяет повысить эффективность использования энергетических ресурсов и свести к минимуму потери, перерасход энергетических ресурсов. Для реализации данной системы предлагается открытая архитектура системы (Рисунок 3).

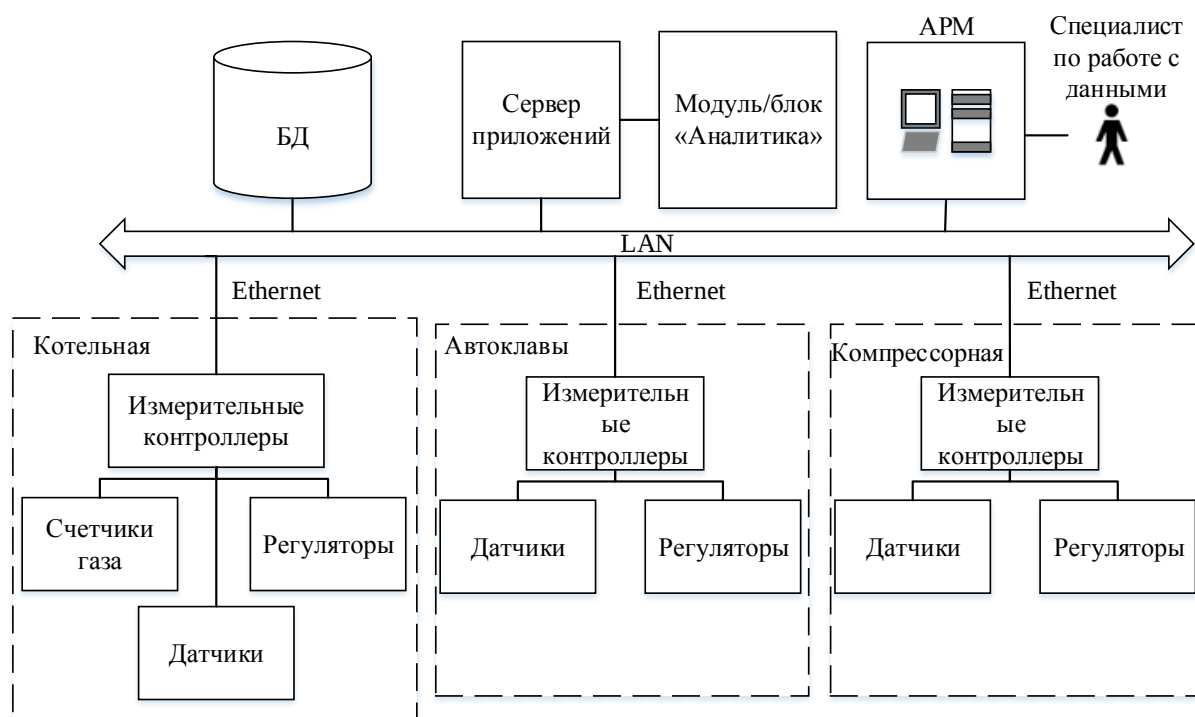


Рис. 3 – Архитектура системы мониторинга и управления низкопотенциальной тепловой энергией

Список литературы

1. Бочкарев С.В., Петроченков А.Б., Схиртладзец А.Г. Управление качеством. – Пермь: ПНИПУ, 2011. – 439 С.
2. Рамазанов Г.М. Тестирование низкопотенциального источника тепла: Органический цикл Ренкина // Сборник трудов конференции Язык. – 2016. – С. 268-271.
3. Дериземля В.А. Современное состояние и перспективы использования низкопотенциального тепла в народном хозяйстве (обзорная статья) // Молодой ученый. – 2017. – №2. – С. 106-110.
4. Дзиндзела А.В., Сизякин А.В. Эффективное использование низкопотенциального тепла // Энергосбережение. – 2012. – №1. – С. 24-31
5. Бочкарев С.В., Краузе Б., Хорошев Н.Н. Статистические исследования контроля качества в автоматизированных системах. – Пермь: ПНИПУ, 2016. – 267 С.

05.13.00

С.В. Данилова канд. эконом. наук, А.А. Проценко, Е.С. Кротова

Ивановский государственный университет, экономический факультет,
кафедра информационных технологий в экономике и организации производства,
Иваново, swdanilova@mail.ru, protsenkoanya@mail.ru, helenaabc@mail.ru

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО- РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-102-104

В статье рассмотрены практические аспекты внедрения системы электронного документооборота на предприятиях с территориально-распределенной сетью филиалов, особенности организации документооборота в e-commerce.

Ключевые слова: *система электронного документооборота, электронная коммерция, эффективность.*

В настоящее время происходит широкий обмен информацией внутри и между предприятиями: с деловыми партнерами, органами государственной власти, со своими территориальными подразделениями. [1] Если значительная часть документов передается в бумажном виде, то у удаленных структурных единиц могут возникнуть следующие недостатки в процессе работы с корпоративными документами: неоднократное оформление документов, их потеря, неосуществимость контроля за движением и регистрацией документов и сроков их согласования и подписания, невозможность поиска существующих документов, отсутствие единого банка данных с изданными и полученными документами, неоднократное дублирование одного документа с целью его отправки по нескольким удаленным адресатам организации, процесс согласования управленческих документов и их исполнение занимает много времени.

В результате совершенствования систем управления документами стало возможно открывать филиалы по всему миру и не беспокоиться о потере какой-либо важной документации. В такого рода структурах, офисы и предприятия которых находятся в разных городах или даже странах и континентах, один из способов повышения эффективности бизнес-процессов и формирования расходов является организация и внедрение территориально-распределенной системы электронного документооборота (ТРСЭД).

Рассматривая данный рынок стоит отметить, что в первую очередь были созданы программы и методы, помогающие наладить процесс сбыта продукции и повысить эффективность менеджеров по взаимодействию с потенциальным потребителем. Затем все внимание было уделено логистическим системам и процессу возврата товаров ненадлежащего качества. На протяжении 2017 года приведено множество методов по привлечению клиентуры с помощью SEO-продвижения сайтов и интернет-магазинов. Как видно из перечисленного, все силы были направлены именно на внешнее взаимодействие, а внутренние процессы были оставлены в стороне.

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что у территориально раздробленных организаций возникает потребность в использовании СЭД. Говоря о специфике данных систем в рамках электронного бизнеса можно отметить следующие направления:

1. **Онлайн расчет.** В связи с принятым Федеральным законом №54-ФЗ предпринимателям в 2018 году необходимо переходить на онлайн-кассы. Поэтому современные системы документооборота должны интегрироваться с онлайн-кассами. Разумеется, затраты на приобретение такого рода системы возлагаются на самих владельцев предприятий. Ровно, как и оформление кассы в налоговой инстанции, приобретение ключа электронной подписи

и подключение к оператору фискальных данных. То есть при каких-либо сбоях в расчетной части формирования чека или отчета в налоговую службу будет уже административная ответственность. Именно на это должны обратить внимание разработчики.

2. Мобильный рынок. Не только сами покупки все чаще происходят через мобильные онлайн-приложения, но и процесс работы с управленческими документами не через стационарные компьютеры должен быть предусмотрен в СЭД. На данный момент существует много систем с удаленным доступом, но процесс формирования заявки к поставщику или проверка оплаты покупателем происходит только внутри серверной системы, что сужает территорию контроля за работой предприятия и площадку сбыта онлайн торговли.

3. Инновации в процессе обработки данных. Для того, чтобы соответствовать современным требованиям качества и скорости обработки документов для современных СЭД, необходимо двигаться по следующим направлениям: совершенствование методов преобразования информации, а именно цифровой формат взаимодействия с клиентом сокращает операционные затраты на службу поддержки на 20–25% и повышает уровень удовлетворенности клиентов на 20–30%; применение методов углубленного анализа с использованием больших массивов данных (BigData), естественно, при улучшении методик оценки уменьшаются капитальные и операционные затраты, затрачивается меньше средств на приобретение или разработку отдельных аналитических систем или функций: весь массив анализируется в одной информационной системе. В результате получаем полностью автоматизированную и интегрированную ТРСЭД.

Среди сотрудников, связанных с электронным бизнесом, был проведен опрос, ориентированный на выявление их требований к ТРСЭД. В результате процессы систематизации документов на всех рабочих площадках территориально-распределенной организации и возможность формирования и применения общих коллективных справочников были первостепенно важными для предпринимателей. К второстепенным требованиям можно отнести то, что за передаваемым документом должны закрепляться так же и все сопроводительные, а также быструю передачу документов между площадками и простоту администрирования территориально-распределенной СЭД.

Таким образом территориально-распределенная система электронного документооборота должна обеспечить всесторонний контроль всего жизненного цикла документов, а также способна сэкономить время на различные операции. Например, время на поиск и ожидание поступления документов, а также согласование и утверждение документов сократится на 20%; процессы передачи документов между подразделениями и подготовка стандартных отчетов о движении документов будут отнимать на 10% времени меньше. [2]

Подводя итог, можно отметить, что в сумме среднее время, которое позволяет экономить СЭД – более 50%. Экономия достигается за счет:

- Уменьшаются затраты – речь не только об экономическом эффекте, но и о временных затратах, для коммерческих организаций это одно из наиболее значимых факторов эффективной СЭД. Уменьшаются затраты как на хранение документов, так и на бумагу.
- Увеличивается качество сервиса – процесс обслуживания ускоряется, снижается риск потери документа, его дублирования и т.д.
- Повышается степень удовлетворенности клиентов – это следует из повысившегося качества обслуживания, а также слаженной и быстрой работой.
- Возможность осуществления контроля над всеми происходящими бизнес-процессами в режиме реального времени значительно увеличивается.
- Обеспечивается лучшая управляемость – появляется возможность контроля над планированием и осуществлением корпоративных планов организации, а также компания сможет оперативно реагировать на изменение внешней среды.
- Соблюдение законодательства, связанного с новшеством нормативной базы.
- Процесс принятия решения становится более прозрачным – система помогает предусмотреть риски.
- Увеличение привлекательности для развития бизнеса и инвестиций.

- Повышение управления качеством – немаловажный фактор, т.к. от качества услуг зависит имидж компании и руководителя, кроме того, напрямую зависит удовлетворенность клиентов.

- и многое другое.

Преимущества автоматизации документооборота территориально- распределенной компании проявляются не только в повседневном ее использовании, но и долговременном. При внедрении всех новшеств СЭД есть возможность получить эффективный инструмент, который автоматизирует и облегчит работу руководителей организации, а также всех подчиняющихся им звеньям, а именно, их помощников и секретарей, служб, документоведов, IT-специалистов. Основными достоинствами применения ТРСЭД станут оптимизация бизнес-процессов, усовершенствование концепции управления всеми филиалами компании и общее повышение качества деятельности компании.

Список литературы

1. Методические рекомендации по разработке инструкций по делопроизводству в федеральных органах исполнительной власти УТВЕРЖДЕНЫ приказом Росархива от 23 декабря 2009 г. № 76
2. Васюхин О. В., Варзунов А. В. Информационный менеджмент: краткий курс. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010 – 119 с.

05.13.18

И.Я. Дятлов, В.В. Черняев канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
Пермь, ktei@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ САМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ГРЕЮЩЕГО КАБЕЛЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-105-108

Проведено исследование электрических характеристик и конструкции саморегулирующего греющего кабеля (СГК), разработана математическая модель работы данного изделия, решена температурная задача в среде ANSYS fluent в условиях естественной конвекции.

Ключевые слова: саморегулирующий греющий кабель, нагревательная полимерная матрица, температурное поле, удельное сопротивление.

В качестве объекта исследования выступил саморегулирующий греющий кабель (СГК) марки HTSX-15-2, широко используемый для обогрева труб водоснабжения и газопроводов. Номинальное рабочее напряжение 230 В, тепловыделение на 1 м кабеля - 15 Вт [1].

Исследованию зависимости электропроводных свойств от числа углеродных частиц и температуры посвящена статья [2], где приведены методика и аппаратура для подобных испытаний.

В источнике [3] представлен анализ саморегулирующей нагревательной матрицы, состоящей из полисульфидных олигомеров с добавлением различных типов сажи. Приведена зависимость удельной мощности от температуры матрицы.

Моделированию процессов теплообмена посвящена работа [4], в которой производился анализ эффективности обогрева в зависимости от числа нагревательных элементов, диаметра трубы и толщины тепловой изоляции.

Численному моделированию нагрева силовых кабельных линий посвящена работа [5], где произведена оценка влияния токовых нагрузок на температуру всей системы.

Задачи исследования:

- а) изучение конструкции СГК и электропроводных свойств матрицы;
- б) моделирование процессов теплообмена между кабелем и воздушной средой.

Исследуемый кабель состоял из следующих элементов (см. рис. 1): 1) Токопроводящие жилы (ТПЖ) медные никелированные многопроволочные, 2) полимерная нагревательная матрица, 3) фторполимерная изоляция, 4) экран из луженой медной проволоки, 5) фторполимерная оболочка.

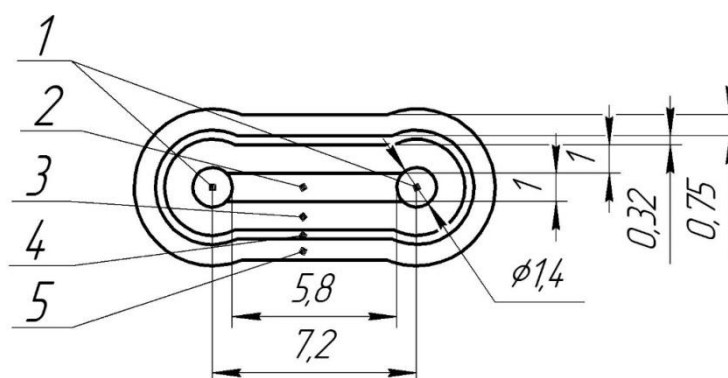


Рис. 1- Конструкция HTSX-15-2

Особенность данного кабеля в том, что в нагревательной матрице с ростом температуры увеличивается удельное сопротивление, вследствие чего уменьшается выделяемая мощность. За счет данного явления происходит «саморегуляция» такого изделия.

Исследование зависимости электропроводности выполнялось по следующей методике: Испытуемый образец помещался в сушильный шкаф Binder FED 720. К ТПЖ подключался мультиметр В7-73/2. Задавая температуру внутри шкафа фиксировали значение сопротивления.

В результате была получена зависимость сопротивления от температуры, представленная в табл. 1.

Таблица 1 - Полученные температурные зависимости.

T, °C	R, Ом	ρ , Ом·мм	P, Вт	T, °C	R, Ом	ρ , Ом·мм	P, Вт
23	395.20	65.87	133.85	80	656.50	109.42	80.58
40	432.38	72.06	122.35	100	729.30	121.55	72.54
60	506.20	84.37	104.50	120	884.00	147.33	59.84

Значения удельного сопротивления и выделяемой мощности определялись по выражениям (1) и (2)

$$\rho = R \frac{t \cdot L}{w} = R \frac{t}{w} [\text{Ом м}] \quad (1)$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{230^2}{R} [\text{Вт}] \quad (2)$$

где, $t = 0,001$ м - толщина нагревательной матрицы; $L = 1$ м длина кабеля; R - сопротивление [Ом]; $w = 0,006$ м - ширина нагревательной матрицы.

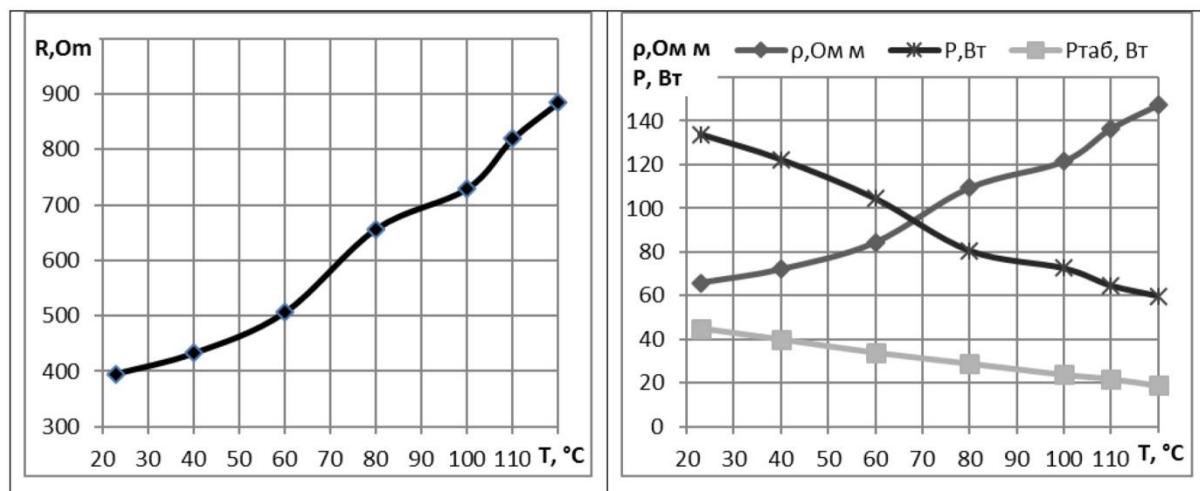


Рис. 2- Зависимость параметров кабеля марки HTSX-15-2 от температуры

Для оценки нагревательной способности исследуемого кабеля была разработана математическая модель. Область исследования представляла собой массив воздуха 5х5 метров, кабель помещался в центре. Для моделирования конвективного теплообмена плотность воздуха задавалась как линейная функция от температуры.

Система дифференциальных уравнений энергии, неразрывности, движения [2] замыкалась граничными условиями:

- 1) На верхней и нижней границах (Γ_3) задавалось граничное условие первого рода (температура 20°C);
- 2) На боковых границах (Γ_2) задавалось условие адиабатического теплообмена;
- 3) Внутри нагревательной матрицы задавалась величина теплового потока q [Вт/м³], рассчитываемого по формуле (3):

$$q = \frac{P}{t w L}; \quad (3)$$

- 4) В качестве начальных условий принималась температура 20°C.

Схематичное изображение исследуемой области представлено на рис.3

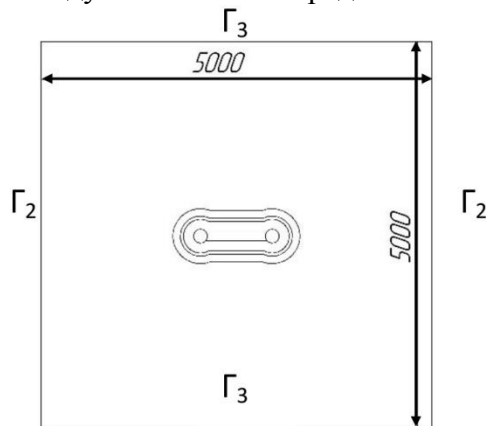


Рис.3 - Схематичное изображение исследуемой области.

В ходе решения поставленной задачи в среде ANSYS fluent были получены температурные поля исследуемой области (рис. 4).

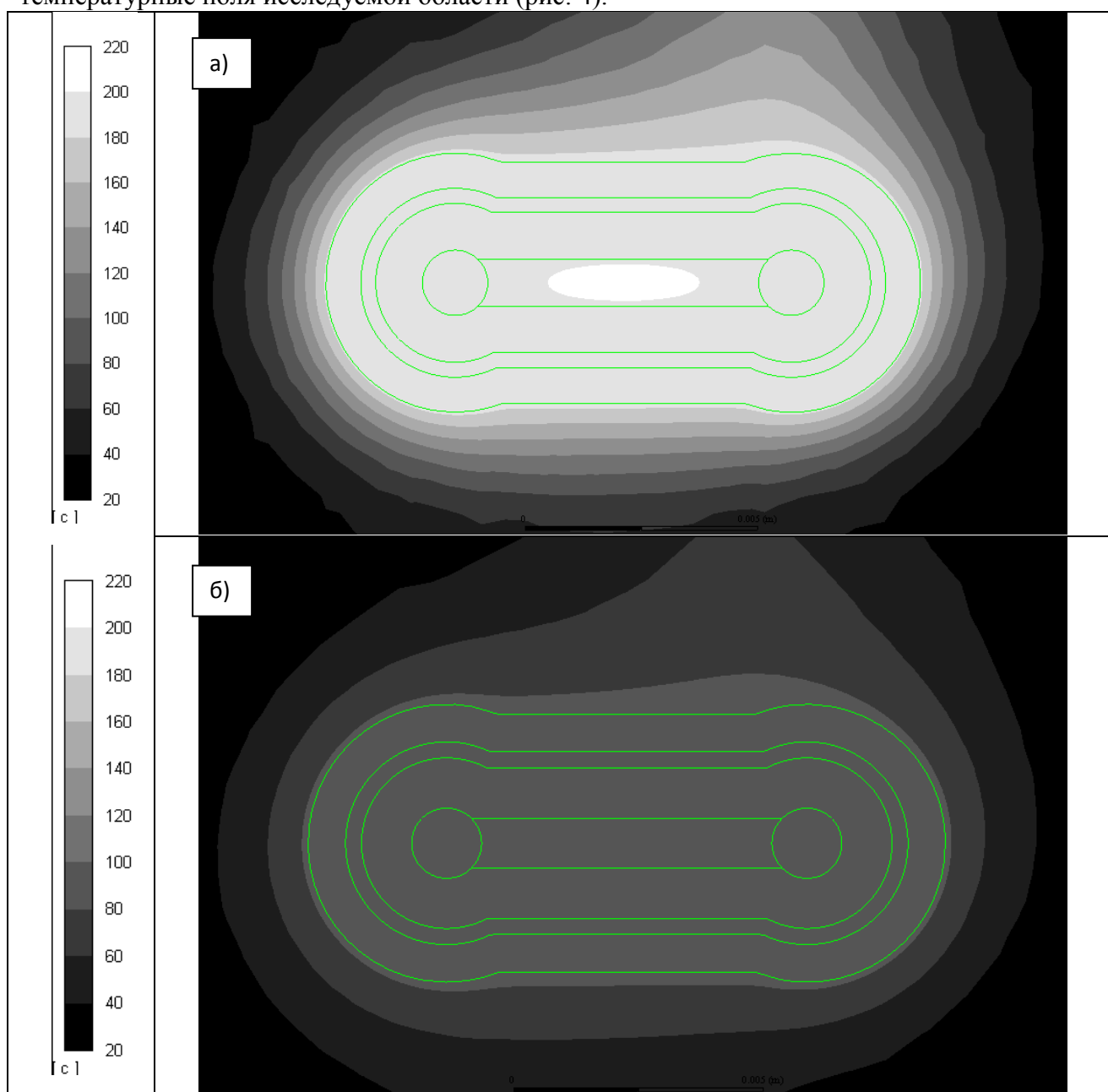


Рис. 4- тепловые поля греющего кабеля при выделяемой мощности а) 60Вт, б) 20Вт.

Таким образом, разработанная математическая модель СГТ, учитывающая эффект саморегулирования, состоящий в снижении нагревательной способности по мере прогрева. Разработанная модель позволяет получать температурные поля как внутри кабеля, так и обогреваемой области с учетом условий прокладки и мощности, выделяющейся на греющей матрице, что позволит более корректно подходить к выбору мощности и режимов работы СГТ.

Список литературы

1. Техническое описание на саморегулирующийся нагревательный кабель HTSX.
2. *Р. А. Сафиуллин, Д. М. Кадилов, И. Э. Исмаев, Е. С. Нефедьев, М. К. Кадилов* / Влияние углеродных наночастиц на термоэлектрические свойства саженнаполненных полисульфидных полимеров/ Вестник Казанского технологического университета 2012 с. 94-95.
3. *Д. М. Кадилов, С. Е. Нефедьев, Д. М. Кадилова, Е. С. Нефедьев* / саморегулирующаяся токопроводящая греющая композиция/ Вестник Казанского технологического университета 2013 с. 123-125.
4. *В. В. Смирнов, С. А. Сихвордт* / сравнительный анализ полезного распределения тепла систем электрообогрева технологических трубопроводов/ шестой технологический уклад: механизмы и перспективы развития 13-14 ноября 2015 г.с. 114-120.
5. *Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю.* Математическое моделирование и управление пропускной способностью кабельных линий в подземном канале// Электротехника 2012 №11 с. 11-14.

05.13.00

А.Г. Ельфинова, Е.В. Игнатова канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ В КАЧЕСТВЕ ИННОВАЦИИ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-109-112**

В настоящий момент все чаще многие технологии называют инновационными без обоснования. И наоборот, некоторые по-настоящему инновационные подходы остаются без внимания. Для определения технологии в качестве инновации необходимо не только сформулировать критерии инновации, но и раскрыть само понятие этого слова. В данной статье проведено исследование технологии информационного моделирования зданий с целью возможности его определения в качестве инновации.

Ключевые слова: *Инновация, критерии инновации, информационное моделирование зданий, BIM.*

Ключевым понятием слово «инновация» является обновление уже существующего продукта, метода или процесса, его совершенствование и обеспечение роста его эффективности. [1] В этом заключается главное отличие понятий «инновация» и «новшество», так как новшество – есть создание чего-либо с нуля, не имеющее фундаментальной основы.

Соответствующего типа инновации могут быть представлены разными категориями. Так, распространена классификация инноваций исходя из:

- степени новизны (радикальные, оптимизирующие, модифицирующие);
- объекта применения (инфраструктурные, технологические, процессные, комплексные);
- потенциального масштаба внедрения (внутрикорпоративные, внутриотраслевые, а также межотраслевые);
- факторов, обусловивших разработку конкретного решения (реактивные, стратегические). [2]

Целью исследования является анализ технологии информационного моделирования зданий для доказательства инновационности этого подхода.

Теории инноваций

В настоящий момент широко распространен эволюционный подход к анализу формирования и становления теории инноваций как отдельной научной школы. В целом можно выделить два укрупненных подхода к формированию теории инноваций – классический и альтернативный. Каждое направление может быть разделено на различные школы. [3]

Если смотреть на сущность инновационного процесса комплексно, можно сделать вывод, что она включает в себя последующее чередование этапов жизненного цикла инновации: создания, производства, апробации, распределения, обмена и потребления. [4]

Таким образом, инновационная деятельность представляет собой целенаправленную и организованную творческую деятельность, состоящую из совокупности различных видов работ, взаимоувязанных в единый процесс по созданию и производству инноваций. Инновационная деятельность направлена на использование результатов научных исследований и разработок, их коммерциализацию, то есть эффективную реализацию на внутреннем и внешнем рынках. Инновационная деятельность состоит из целого комплекса научных, технологических, финансовых и коммерческих мероприятий. [5]

В свою очередь на основе инновационной деятельности в международных стандартах в статистике науки, техники и инноваций дается определение инновации как «конечного результата инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности». [6]

Критерии инновации

Важнейший критерий признания того или иного решения инновационным — принципиальное улучшение того или иного технологического или управленческого процесса при его внедрении. [2] Также к критериям инновационности относятся:

- соответствие проекта приоритетным направлениям индустриально-инновационной стратегии;
- актуальность исследования и уникальность проекта (отсутствие аналогов);
- научная новизна предлагаемых в проекте решений;
- технологический уровень проекта (новая технология);
- преимущества проекта по сравнению с существующими аналогами в мире;
- экономическая целесообразность проекта. [7]

Немаловажно отметить, что для оценки технологии в качестве инновационной, ей необязательно соответствовать всем перечисленным критериям одновременно.

Инновации — это то, что движет прогресс. Инновации, меняют к лучшему или повышают выгоды. Инновации являются конечным результатом человеческой интеллектуальной деятельности, его фантазии, творческого процесса, опыта и рационализации. [9]

Может ли BIM считаться инновацией?

BIM (Building Information Modeling) – информационное моделирование знаний. На текущий момент, как и в случае с понятием «инновация», понятие «BIM» также имеет множество трактовок. Ссылаясь на ГОСТ Р ИСО 12006-2-2017 можно сказать, что информационное моделирование зданий, представляет собой обмен информацией различного типа между участниками процесса и заинтересованными лицами на протяжении всего времени развития проекта [10]. Другое определение BIM - это вся имеющая числовое описание и нужным образом организованная информация об объекте, используемая как на стадии проектирования и строительства здания, так и в период его эксплуатации и даже сноса. [11]

В данном исследовании BIM является методом или совокупностью методов для автоматизации процессов в отрасли строительства. BIM может использоваться при проектировании, планировании строительно-монтажных работ, оценке стоимости проекта или при эксплуатации уже построенного здания.

Для ответа на вопрос может ли BIM считаться инновацией, необходимо проанализировать BIM с точки зрения уже описанных критериев инновации:

- внедрение BIM в строительстве соответствует приоритетным направлениям стратегии развития цифровой экономики страны;
- BIM предполагает поддержку всего жизненного цикла строительного объекта;
- BIM оказывает положительное влияние на технологию проектирования, поскольку сокращает время и количество ошибок при проектировании за счет возможности совместного моделирования здания и обнаружения пространственных коллизий на этапе разработки документации;
- у технологии информационного моделирования отсутствуют аналоги (BIM является новой, динамично развивающейся технологией, вклад в развитие которой делают тысячи организаций по всему миру).

Таким образом, можно сделать вывод, что BIM является инновацией в своей отрасли.

Кроме того, определяемая в качестве инновации, BIM технология может объединять совокупность процессов, и методов, каждый из которых в той или иной степени тоже может считаться инновационным. Определение из теории инноваций, указывающее, что

инновационная деятельность – есть совокупность различных видов работ, взаимоувязанных в единый процесс по созданию и производству инноваций может быть использовано в качестве еще одного доказательства, что BIM является инновационной технологией.

Для более глубокого понимания места BIM в инновационной деятельности, проведен анализ BIM как типа инновации, согласно классификации из [2]. Результаты анализа показаны в Таблице 1.

Таблица 1 – Место BIM в классификации инноваций

№	Вариант классификации	Значение
1	Классификация по степени новизны	Модифицирующая инновация
2	Классификация по объекту применения	Процессная инновация
3	Классификация по масштабу внедрения	Внутриотраслевая инновация
4	Классификация по факторам разработки	Стратегическая инновация

Для обоснования выбранных значений приведены следующие пояснения:

1. BIM является модифицирующей инновацией, так как использование BIM технологий помогает повысить эффективность одного или нескольких процессов в рамках реализации проектов строительной отрасли. BIM технологии не являются радикальными, так как их появление не было резким, а охват не был глобальным. В то же время они не являются оптимизирующими, так как внедрение и первичное использование BIM часто сопровождается значительными финансовыми и временными затратами.

2. BIM является процессной инновацией, потому что при правильном подходе использование технологии информационного моделирования кардинально меняет структуру процессов в рамках организации, внедрившей BIM.

3. На текущий момент BIM является внутриотраслевой инновацией. Информационное моделирование может использоваться для решения широкого класса задач, но все эти задачи так или иначе имеют отношение к строительной отрасли.

4. BIM можно было бы назвать реактивной инновацией и опереться на тот факт, что совсем недавно никто не знал об этой технологии, а в настоящее время интерес к BIM стремительно растет. Но все-таки для информационного моделирования гораздо ближе понятие стратегической инновации. Шаг за шагом российский рынок изучает и осваивает BIM технологию. Это происходит во многом благодаря постановлению Правительства РФ и его решению обязать строительную отрасль использовать BIM технологии с 2019 года. [8]. Поэтому, погружаясь в исследование процессов информационного моделирования, организации делают стратегически важные шаги, чтобы оказаться на плаву после вступления в силу нового постановления.

Заключение

Результатом проведенного исследования является доказательство, что технология информационного моделирования зданий (BIM) является инновационной. Определен тип инновации (в соответствии с классификацией из [2]). Практическим результатом исследования может стать методика внедрения BIM технологий в деятельность организаций строительного комплекса, в основе которой лежат альтернативная теория инноваций и механизмы внедрения инноваций.

Список литературы

1. Википедия. Инновация. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Инновация> (дата обращения: 18.05.2018)
2. FB. Что такое инновации? Примеры, виды инноваций. URL: <http://fb.ru/article/249294/chto-takoe-innovatsii-primeryi-vidyi-innovatsiy> (дата обращения 21.05.2018)
3. Вареник К.А. «Теория инноваций как ключевое направление научных исследований XX века» в журнале «Современные проблемы науки и образования» №5.2013. С. 1-11
4. Данилкова Е.Б. «Экономическая сущность и природа инновации» в журнале «Вестник ВГУИТ» №1.2017. С. 326-331
5. Мызрова О.А. «Развитие и современное состояние теории инноваций» в журнале «Инновации» №7.2006. С. 79-83
6. Чайковская Н.В., Панягина А.Е. «Сущность инноваций: основные теоретические подходы» в журнале «Современная экономика: проблемы, тенденции, перспективы» №4.2011. С. 47-57
7. Мутанов Г.М., Есенгалиева Ж.С. «Метод оценки инновационности и конкурентоспособности инновационных проектов» в журнале «Фундаментальные исследования». 2012. С. 712-717
8. Информационное агентство России ТАСС. Москва перейдет на BIM-технологии для экспертизы проектов строительства в 2019 году. URL: <http://tass.ru/ekonomika/4773262> (дата обращения: 02.12.2017г.)
9. HI-NEWS. Новости высоких технологий. Инновации. URL: <https://hi-news.ru/tag/innovacii> (дата обращения: 17.05.2018г.)
10. База ГОСТов. ГОСТ Р ИСО 12006-2-2017 Строительство. Модель организации данных о строительных работах. Часть 2. Основы классификации информации URL: https://allgosts.ru/35/240/gost_r_iso_12006-2-2017 (дата обращения: 17.05.2018г.)
11. Isicad. Владимир Талапов «BIM: что под этим обычно понимают». URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14078 (дата обращения: 29.04.2018г.)

05.13.00

В.К. Ионычев канд. физ. – мат. наук, А.А. Шестеркина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева, институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, microelektro@mail.ru

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ОБЛАСТИ ИОНИЗАЦИИ В АРСЕНИДГАЛЛИЕВЫХ РЕЗКИХ $p - n$ -ПЕРЕХОДАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-113-116

Проведен численный расчет области ионизации в резких арсенидгаллиевых $p - n$ -переходах в диапазоне пробивных напряжений 15 – 6000 В. При расчете использовались коэффициенты ударной ионизации электронов и дырок, которые в настоящее время считаются наиболее точными и пригодными в широком диапазоне электрических полей. Предлагается аппроксимационное выражение для зависимости минимальной толщины слаболегированной базы от напряжения пробоя, при которой справедливо известное и широко распространенное выражение для расчета напряжения лавинного пробоя $p^+ - n - n^+$ -структур.

Ключевые слова: лавинный пробой, $p - n$ -переход, ударная ионизация, область ионизации, напряжение пробоя, коэффициент ионизации.

Ударная ионизация происходит в ограниченной части области объемного заряда $p - n$ -перехода, вблизи плоскости с максимальным значением напряженности электрического поля – это так называемая область умножения или область ионизации [1]. Она непосредственно входит в расчетные формулы для сопротивления пространственного заряда, ее знание необходимо при исследованиях глубоких центров по задержке микроплазменного пробоя $p - n$ -перехода [2–4], для определения критерия применимости аналитического выражения для расчета напряжения лавинного пробоя $p^+ - n - n^+$ ($n^+ - p - p^+$)-структур [5]. По разным литературным источникам имеется значительный разброс в значениях этой величины.

Целью работы является определение области эффективной ионизации в арсенидгаллиевых резких $p - n$ -переходах в широком диапазоне пробивных напряжений.

Основным параметром, характеризующим интенсивность ионизации, является коэффициент ионизации носителей заряда α . Зависимость коэффициентов ионизации от напряженности электрического поля описывается выражением, считающимся наиболее точным и пригодными в широком диапазоне полей [6]

$$\alpha\lambda_R = \frac{1}{c} \exp \left[a - (a^2 + c^2)^{0.5} \right], \quad (1)$$

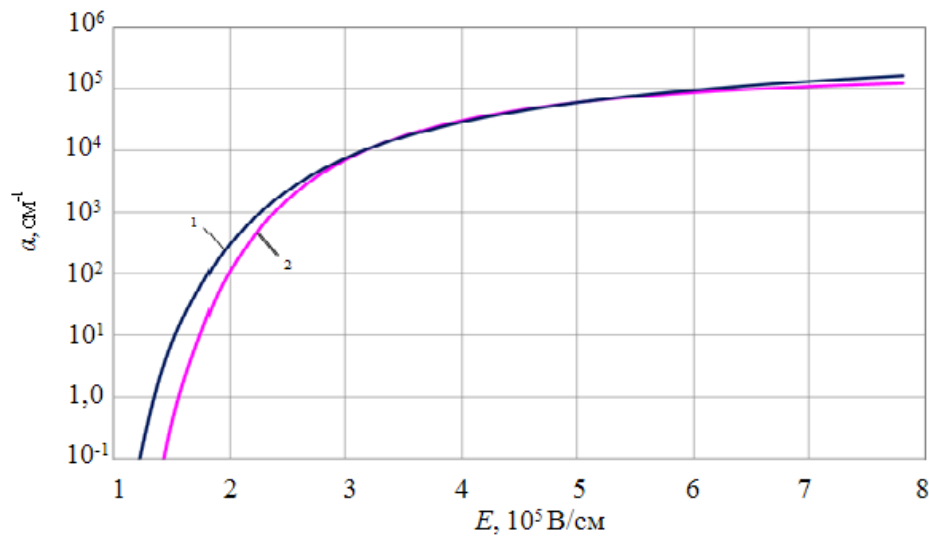
$$c = \frac{E_i}{eE\lambda_R}; \quad a = 0.217 \left(\frac{E_i}{\langle E_R \rangle} \right)^{1.14},$$

где E_i – пороговая энергия ионизации, E_R – энергия оптического фонона, λ_R – средняя длина свободного пробега носителей при рассеянии на оптических фононах, E – напряженность электрического поля.

В формулу (1) входят два подгоночных параметра: E_i и λ_R , и оптимальным их подбором можно добиться наибольшего совпадения в описании α по формуле (1) и по формуле

$$\alpha(E) = A \exp \left[g - \left(g^2 + \left(\frac{b}{E} \right)^2 \right)^{0.5} \right], \quad (2)$$

где $A = 0.245 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$, $b = 6.65 \cdot 10^6 \text{ В/см}$, $g = 57.6$, которая считается наиболее достоверной для арсенидгаллиевых $p - n$ -переходов в диапазоне умеренных полей [7]. Считается, что в арсениде галлия коэффициенты ударной ионизации для электронов и для дырок одинаковы. На рис. 1 приведены расчетные зависимости коэффициентов ионизации от напряженности электрического поля при $T=300 \text{ К}$. Кривая 1 построена при следующих значениях параметров: $E_g(300\text{К}) = 1.43 \text{ эВ}$; $E_i = 3/2 E_g = 2.14 \text{ эВ}$; $\langle E_R \rangle = E_R \text{th} \frac{E_R}{2KT}$; $\lambda_R = \lambda_0 \text{th} \frac{E_R}{2KT}$, $\lambda_0 = 40 \text{ \AA}$; $E_R = 0.036 \text{ эВ}$;



1 – по формуле (1); 2 – по формуле (2)

Рис. 1. – Зависимость коэффициентов ионизации от напряженности электрического поля в арсенидгаллиевом $p - n$ -переходе .

Как видно, в диапазоне полей от $3 \cdot 10^5$ до $6 \cdot 10^5 \text{ В/см}$ наблюдается хорошее соответствие между зависимостями 1 и 2, однако, особенно в слабых полях ($E < 3 \cdot 10^5 \text{ В/см}$), различие становится значительным.

Алгоритм определения ширины области ионизации основан на расчете зависимости напряжения пробоя $p^+ - n - n^+$ - структуры от толщины умеренно легированной области и имеет ниже приведенный вид:

а) задается N_d в умеренно легированной n -области;

б) в первом приближении рассчитывается напряжение пробоя резкого $p^+ - n$ -перехода U_B и ширина области объемного заряда при пробое L_B ;

в) рассчитывается напряженность поля в $p^+ - n$ -переходе по формуле

$$E(x) = \frac{2U}{L_B} \left(1 - \frac{x}{L_B} \right);$$

г) рассчитывается коэффициент ударной ионизации электронов и дырок по формуле (1) или (2);

д) вычисляется ионизационный интеграл

$$J = \int_0^{L_B} \alpha_n \exp \left[- \int_0^x (\alpha_n - \alpha_p) dx' \right] dx;$$

е) если $J > 1$, то значение U уменьшается: $U = U - \Delta U$, если $J < 1$, то U увеличивается: $U = U + \Delta U$. Эта процедура повторяется до тех пор, пока J не станет равной 1 с заданной точностью. Напряжение U , при котором $J = 1$ является напряжением пробоя $p^+ - n$ -перехода U_B ;

ж) задается первое значение ширины умеренно легированной области $l \leq L_B$ и по аналитической формуле, справедливой пока n^+ -область не затрагивает область ионизации,

рассчитывается напряжение лавинного пробоя $p^+ - n - n^+$ -структуры [5]

$$U_{p^+ - n - n^+}^{(анал.)} = U_B \left[1 - \left(1 - \frac{l}{L_B} \right)^2 \right]; \quad (3)$$

и) рассчитывается напряжение прокола $p^+ - n - n^+$ -структуры

$$U_p = \frac{eN_d}{2\varepsilon} l^2;$$

к) рассчитывается напряжение пробоя $p^+ - n - n^+$ -структуры по условию

$$\int_0^l \alpha_n \exp \left[-\int_0^x (\alpha_n - \alpha_p) dx' \right] dx = 1,$$

по пунктам с б до е, только в качестве первого приближения для U берется $U_{p^+ - n - n^+}^{(анал.)}$, а

$E(x)$ рассчитывается по формуле

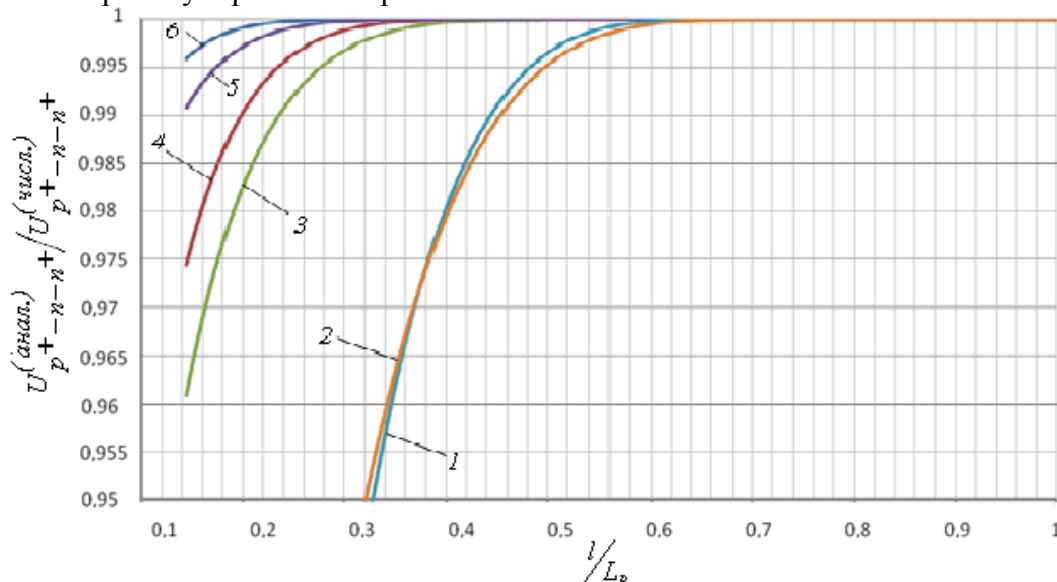
$$E(x) = \frac{U + U_p}{l} - \frac{eN_d}{\varepsilon} x;$$

л) напряжение, при котором ионизационный интеграл J равен 1 будет напряжением пробоя $p^+ - n - n^+$ -структуры $U_{p^+ - n - n^+}^{(числ.)}$;

м) рассчитываем $U_{p^+ - n - n^+}^{(числ.)}$ -структуры для различных значений l ;

н) анализ зависимости $U_{p^+ - n - n^+}^{(числ.)}$ структуры и $U_{p^+ - n - n^+}^{(анал.)}$ от l , при котором $U_{p^+ - n - n^+}^{(числ.)}$ и $U_{p^+ - n - n^+}^{(анал.)}$ отличаются не более чем на заданную величину дает ширину области ионизации l_i .

На рис. 3 представлены результаты расчетов зависимостей напряжения пробоя $p^+ - n - n^+$ -структуры от ширины умеренно легированной области.



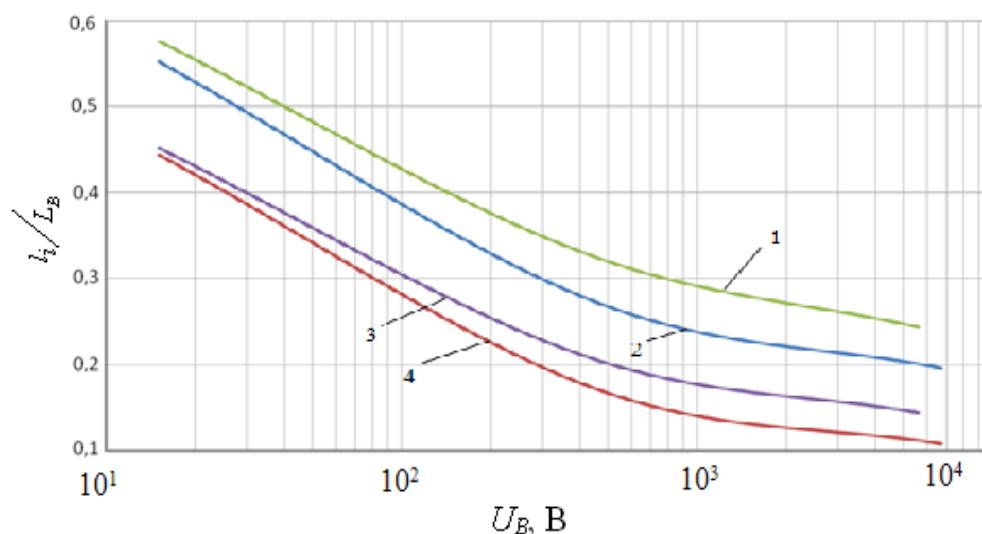
α – по формуле (2): 1– $N_d = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, 3– $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, 5– $N_d = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$;

α – по формуле (1): 2– $N_d = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, 4– $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, 6– $N_d = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Рис. 3 – Зависимость напряжения пробоя $p^+ - n - n^+$ -структуры от ширины n -области

Выбран критерий, по которому определяется значение эффективной области ионизации. На рис. 4 представлены зависимости ширины области ионизации от напряжения пробоя для резких $p^+ - n$ ($n^+ - p$)-переходов для критериев 0.1% и 1%.

Как следует из представленных данных, области ионизации, определенные по этим критериям, заметно различаются. Это свидетельствует о том, что граница области ионизации достаточно размыта. Ширина области ионизации больше в низковольтных переходах по сравнению с высоковольтными; при использовании более точного выражения для коэффициентов ионизации и это соотношение увеличивается с ростом напряжения пробоя.



α – по формуле (1): 1 – критерий 0,1 %, 3 – критерий 1 %;

α – по формуле (2): 2 – критерий 0,1 %, 4 – критерий 1 %.

Рис. 4 – Зависимости ширины области ионизации от напряжения пробоя

Выражая l_i / L_B как функцию U_B для критерия 1 %, можно получить следующую

зависимость для определения l_{min} , при которой справедливо известное и широко распространенное выражение (3) для расчета напряжения лавинного пробоя перехода с ограничением области пространственного заряда сильнолегированным слоем

$$l_{min} / L_B = 1.12 - 0.66(\lg U_B) + 0.18(\lg U_B)^2 - 0.02(\lg U_B)^3.$$

Список литературы

1. Грехов И.В., Серезжин Ю.Н. Лавинный пробой p – n -перехода в полупроводниках. Л.: Энергия, 1980. – 152 с.
2. Булярский С.В., Серезжин Ю.Н., Ионычев В. К. Определение параметров глубоких уровней по релаксационной задержке пробоя p – n -перехода // ФТП. –т. 33, вып. 4. –1999. – С. 494 – 497.
3. Ионычев В.К., Ребров А.Н. Исследование глубоких центров в микроплазменных каналах кремниевых лавинных эпитаксиальных диодов // ФТП. –т. 43, вып. 7. – 2009. – С. 980 – 984.
4. Ionychev V. K., Shesterkina A. A. A study of deep centers in microplasma channels in GaP light-emitting diodes with green-emission spectrum // Semiconductors. 2017. –V. 51, № 3. – P. 370 – 373.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн.1. Пер. с англ. 2-е перераб. и доп. изд. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
6. Okyto Y., Crowell C.R. Energy-conservations in the characterization of impact ionization in semiconductors. // Phys. Rev. –1972. – Vol. B6. – P. 3076 – 3081.
7. Кюрегян А.С., Юрков С.Н. Напряжение лавинного пробоя p – n -переходов на основе Si, Ge, SiC, GaAs, GaP и InP при комнатной температуре // ФТП.– т. 23, вып. 10. – 1989. – С.1819 – 1827.

05.13.18

А.О. Казакова канд. физ.-мат. наук

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
факультет прикладной математики, физики и информационных технологий
Чебоксары, kazakova_anastasia@bk.ru

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ МОДЕЛИ МИКСЕРА В РАМКАХ ПРИБЛИЖЕНИЯ СТОКСА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-117-120

В работе проведено численное исследование плоской задачи течения вязкой жидкости в приближении Стокса и в качестве приложения рассмотрена модель миксера. Математическая модель описывается бигармоническим уравнением, которое сводится к системе уравнений относительно двух гармонических функций. Система решается численно с применением метода граничных элементов. Проведены тестовые расчеты и расчеты модели миксера для различных форм лопатки.

Ключевые слова: модель миксера, течение вязкой жидкости, приближение Стокса, функция тока, метод граничных элементов.

Задача о течении вязкой жидкости, заключенной между вращающимися цилиндрами имеет важные приложения в теории гидродинамической смазки, в теории гидродинамической устойчивости, а также интересна для решения проблемы перемешивания. Простейшее решение получается в случае осесимметричного вращения цилиндров с постоянными угловыми скоростями, оно изучено Н.П. Петровым в 1883 г. с приложением к теории трения в подшипниках. Впервые задачу течения вязкой жидкости между двумя эксцентрично расположенными круговыми цилиндрами, один из которых вращается, рассмотрел Н.Е. Жуковский в 1887 г. Позднее Б. Баллал и Р. Ривлин [1] получили обобщение решения Н.Е. Жуковского, учитывающее вращение внешнего цилиндра. В работе [2] построено точное аналитическое решение для поля скоростей жидкости в случае произвольного движения круговых эксцентрических цилиндров. В [3] описано решение задачи о движении цилиндра произвольного сечения с использованием конформного отображения и метода коллокации.

Во всех указанных работах, как и в данной статье, предполагается малость числа Рейнольдса, и уравнения движения жидкости решаются в линейном приближении Стокса. Искомой является бигармоническая функция тока, через которую выражаются скорости.

Математическая модель течения вязкой жидкости между двумя вращающимися цилиндрами

Пусть жидкость заключена между двумя цилиндрическими телами с сечением произвольной формы. Пусть в плоскости $z = x + iy$ контур ∂D_0 находится внутри контура ∂D_1 . Компоненты скорости точки вращающегося с угловой скоростью ω твердого тела:

$$V_x = -\omega \rho_y, \quad V_y = \omega \rho_x, \quad (1)$$

где $\rho_x = x - \Delta x$, $\rho_y = y - \Delta y$, $(\Delta x, \Delta y)$ – координаты точки, через которую проходит ось вращения.

Если жидкость несжимаема, то существует бигармоническая функция тока $\Psi(x, y)$, через которую выражаются компоненты скорости жидкости:

$$V_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad V_y = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}. \quad (2)$$

Граничные условия для определения функции тока получаются из условий прилипания, в соответствии с которыми на контурах ∂D_0 и ∂D_1 скорость жидкости совпадает со скоростью точки контуров:

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right|_{\partial D_k} = V_x^{(k)} = -\omega_k \rho_y^{(k)}, \quad \left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{\partial D_k} = -V_y^{(k)} = -\omega_k \rho_x^{(k)}, \quad k = 0, 1, \quad (4)$$

где ω_k – угловая скорость контура ∂D_k .

Граничные условия (4) позволяют определить нормальную и касательную производные функции тока на границах ∂D_0 и ∂D_1 :

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial n} \right|_{\partial D_k} = g_n^{(k)}(s) = \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} n_x + \frac{\partial \Psi}{\partial y} n_y \right)_{\partial D_k} = (-1)^k \omega_k \left(\rho_x^{(k)} \frac{dy_k}{ds} - \rho_y^{(k)} \frac{dx_k}{ds} \right), \quad k = 0, 1, \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial s} \right|_{\partial D_k} = \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial x} n_y + \frac{\partial \Psi}{\partial y} n_x \right)_{\partial D_k} = (-1)^k \omega_k \left(\rho_x^{(k)} \frac{dx_k}{ds} + \rho_y^{(k)} \frac{dy_k}{ds} \right), \quad k = 0, 1, \quad (6)$$

где $x = x_k(s)$, $y = y_k(s)$ – параметрические уравнения границ ∂D_k , $k = 0, 1$, s – нормированная дуговая координата.

Равенства (6) можно проинтегрировать по s и получить значения функции Ψ на границах ∂D_0 и ∂D_1 :

$$\Psi|_{\partial D_k} = g^{(k)}(s) = (-1)^k \frac{\omega_k}{2} (\rho_x^{(k)2} + \rho_y^{(k)2}) + C_k, \quad k = 0, 1, \quad (7)$$

где C_k ($k = 0, 1$) – неопределенные константы интегрирования.

Поскольку компоненты скорости жидкости выражаются через производные функции тока, то константу интегрирования на одном контуре можно положить равной нулю, а на другом она может быть найдена из условия для гармонической функции, которое следует из формулы Гаусса-Остроградского:

$$\int_{\partial D} \frac{\partial \Delta \Psi}{\partial n} ds = \int_{\partial D_0} \frac{\partial \Delta \Psi}{\partial n} ds + \int_{\partial D_1} \frac{\partial \Delta \Psi}{\partial n} ds = 0. \quad (8)$$

Таким образом, гидродинамическая задача эквивалентна краевой задаче для уравнения $\Delta^2 \Psi = 0$ с граничными условиями (5), (7). Такая постановка называется *основной краевой задачей* для бигармонического уравнения.

Применение метода граничных элементов

С помощью основной краевой задачи для бигармонического уравнения описывается также математическая модель плоской задачи теории упругости. В [4] применительно к этой модели был реализован численный алгоритм метода граничных элементов решения основной краевой задачи для бигармонического уравнения в двусвязной области.

Согласно известной теореме Гурса, любая бигармоническая в плоской области D функция Ψ может быть представлена в виде:

$$\Psi = \varphi(x, y) + x \cdot \psi(x, y), \quad \text{где } \Delta \varphi = 0, \quad \Delta \psi = 0 \quad \text{внутри области } D. \quad (9)$$

Запишем граничные условия (5), (7) для функции вида (9):

$$\varphi|_{\partial D_k} + x_k(s) \psi|_{\partial D_k} = g^{(k)}(s), \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right|_{\partial D_k} + x_k(s) \left. \frac{\partial \psi}{\partial n} \right|_{\partial D_k} + \psi|_{\partial D_k} \frac{dy_k}{ds} = g_n^{(k)}(s), \quad k = 0, 1. \quad (10)$$

Для функции $\varphi(M)$, гармонической в плоской области D с гладкой границей, справедливо следующее интегральное тождество:

$$\varepsilon \pi \varphi(M) = - \int_{\partial D} G(M, M') \frac{\partial \varphi(M')}{\partial n} ds' + \int_{\partial D} \frac{\partial G(M, M')}{\partial n} \varphi(M') ds', \quad M' \in \partial D, \quad (11)$$

$$\text{где } G(M, M') = \ln(r(M, M')), \quad r(M, M') = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}, \quad \varepsilon = \begin{cases} 2, & M \in D, \\ 1, & M \in \partial D. \end{cases}$$

Каждая из функций φ и ψ , входящая в (9), удовлетворяет на $\partial D = \partial D_0 \cup \partial D_1$ тождеству (11). Избавляясь от особенности во втором слагаемом [5] и поставив в соответствие точкам M , M' их координаты s и s' , можно перейти к граничным интегральным уравнениям вида:

$$A\varphi_n(s) + B\varphi(s) = 0, \quad A\psi_n(s) + B\psi(s) = 0, \quad (12)$$

где A и B – линейные операторы:

$$A\varphi_n(s) = - \int_{\partial D} G(s, s') \varphi_n(s') ds', \quad B\varphi(s) = \int_{\partial D} G_n(s, s') (\varphi(s') - \varphi(s)) ds'.$$

Пусть контуры области заданы параметрически: $\partial D_0: x = x_0(\zeta), y = y_0(\zeta)$; $\partial D_1: x = x_1(\zeta), y = y_1(\zeta)$, где $x_k(\zeta), y_k(\zeta)$ ($k=0,1$) – функции параметра ζ с единичным периодом. Вводится дискретизация контуров конечным числом точек $M_i^{(0)}$ ($i=\overline{1, N_0}$), $M_i^{(1)}$ ($i=\overline{1, N_1}$), точке $M_i^{(k)}$ соответствует значение $\zeta_i^{(k)} = i / N_k$. Параметр ζ и координата s связаны соотношением $ds = l f(\zeta) d\zeta$. Тогда с помощью квадратурных формул без насыщения [5] уравнения (10), (12) можно свести к СЛАУ относительно значений функций $\varphi_k = \varphi|_{\partial D_k}$,

$$\psi_k = \psi|_{\partial D_k}, \quad \varphi_n^{(k)} = \frac{\partial \varphi}{\partial n} \Big|_{\partial D_k}, \quad \psi_n^{(k)} = \frac{\partial \psi}{\partial n} \Big|_{\partial D_k} \quad \text{в точках } M_i^{(k)}.$$

Тестовый расчет для круговых цилиндров

Рассматриваются два эксцентрично расположенных круговых цилиндра: ρ_0 – радиус внутреннего цилиндра (угловая скорость ω_0), ρ_1 – радиус внешнего цилиндра (угловая скорость ω_1), расстояние между центрами $\hat{x}$. На рис. 1 и 2 дано сравнение численного и аналитического [1] решения для различных значений параметров $\rho_0, \rho_1, \omega_0, \omega_1, \hat{x}$ при $N_0 = 40, N_1 = 100$.

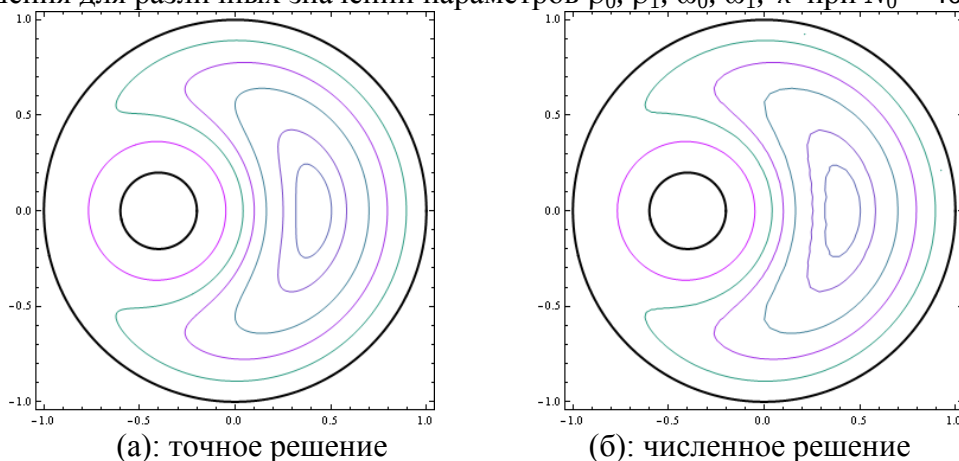


Рис. 1 – Линии тока $\Psi = \text{const}$ для $\rho_0 = 0.2, \rho_1 = 1, \omega_0 = 5, \omega_1 = -0.2, \hat{x} = 0.4$

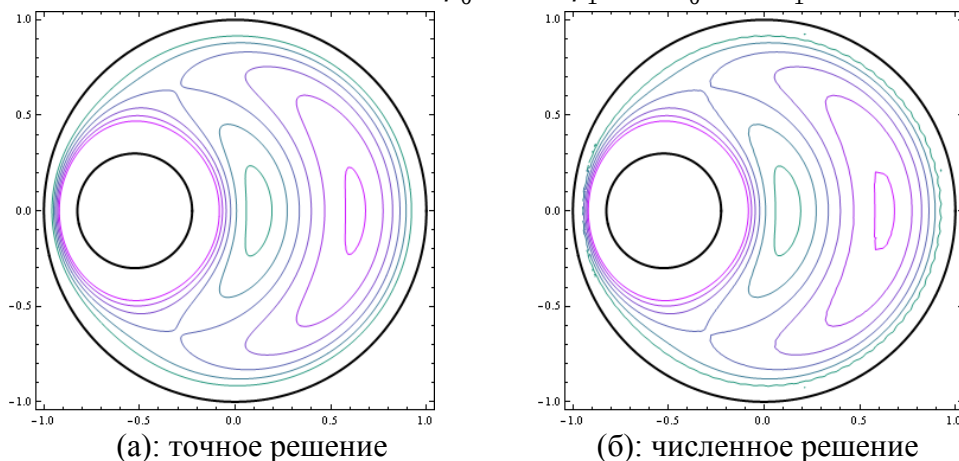
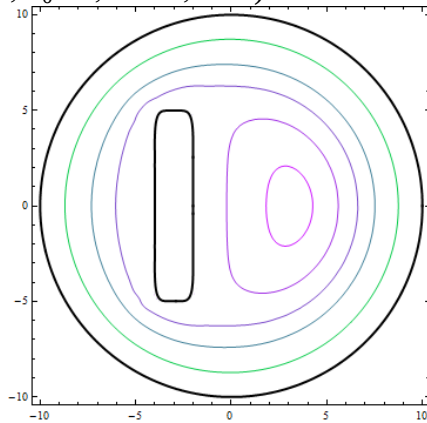


Рис. 2 – Линии тока $\Psi = \text{const}$ для $\rho_0 = 0.3, \rho_1 = 1, \omega_0 = 12, \omega_1 = 1, \hat{x} = 0.525$

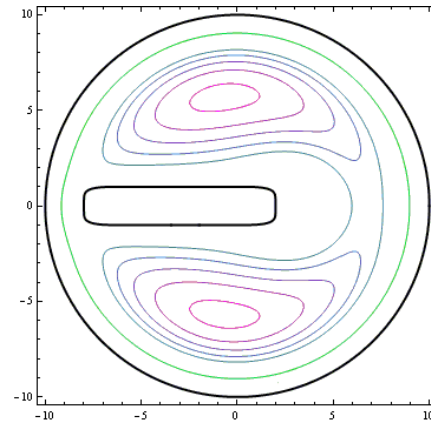
Наблюдается хорошее совпадение точного и численного результатов уже при небольших значениях N_0 и N_1 . Точность может ухудшаться лишь вблизи границ, однако с ростом N_0, N_1 область расхождения уменьшается.

Результаты численного расчета модели миксера

Рассмотрим течение вязкой жидкости между вращающейся с угловой скоростью ω лопаткой с линейными размерами a_0 и b_0 и круговым цилиндром радиуса ρ_1 , расстояние между центрами $\hat{x}$ (модель миксера). Выбирается система координат, в которой внутренний контур неподвижен, тогда внешний контур вращается в ней со скоростью $-\omega$, и течение стационарно. На рис. 3 и 4 для вертикального и горизонтального положений лопатки изображены линии тока, полученные в результате численного расчета ($N_0=80$, $N_1=200$, $\rho_1=10$, $a_0=1$, $b_0=5$, $\hat{x}=3$, $\omega=1$).

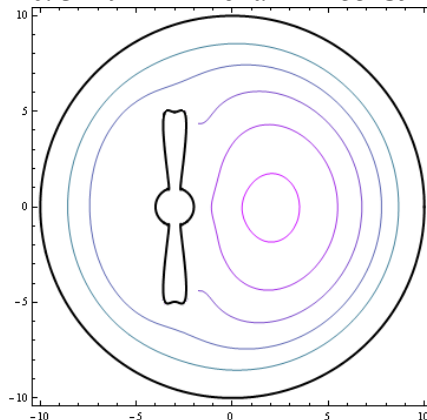


(а): вертикальное положение

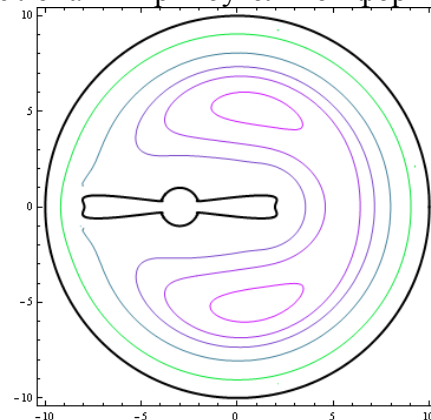


(б): горизонтальное положение

Рис. 3 – Линии тока $\Psi = const$ в случае лопатки прямоугольной формы



(а): вертикальное положение



(б): горизонтальное положение

Рис. 4 – Линии тока $\Psi = const$ в случае лопатки сложной формы

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-00220.

Список литературы

1. Ballal B.Y., Rivlin R.S. Flow of a Newtonian Fluid Between Eccentric Rotating Cylinders // Arch. Rat. Mech. Anal. 1976. V. 62. P. 237–294.
2. Казакова А.О., Петров А.Г. О поле скоростей вязкой жидкости между двумя цилиндрами, вращающимися и движущимися поступательно // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2016. № 3. С. 16–25.
3. Терентьев А.Г., Терентьев А.А. Движение цилиндра в вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса // Изв. НАНИ ЧР. 2002. № 2. С. 44–62.
4. Казакова А.О., Терентьев А.Г. Численное моделирование плоской задачи о напряженном состоянии трубы, погруженной в жидкость // Прикладная математика и механика. 2014. Т. 78, № 5. С. 721–727.
5. Petrov A.G. Quadrature Formulas for Periodic Functions and Their Application to the Boundary Element Method // Computational Mathematics and Mathematical Physics. V. 48. 2008. P. 1266–1283.

05.13.00

Г.Е. Кокиева д-р техн. наук

Федеральное агентство связи

Бурятский институт инфокоммуникаций (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Улан-Удэ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБОРУДОВАНИИ ПО МОДУЛЮ «ФИКСИРОВАННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ»

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-121-123

Разработано оборудование с трехъярусным перемешивающим устройством. Адекватность работы аппарата и протекающего в нем физического процесса описывается при помощи экспериментального исследования. В связи с этим был проведен численный многофакторный эксперимент, адекватно описывающий процесс происходящий в предлагаемом аппарате, данные обрабатывались по модулю «фиксированные нелинейные модели».

Ключевые слова: *физический процесс, технология, многофакторный численный эксперимент, дифференциальные уравнения.*

Большое внимание уделяется разработке конструкции процессов протекающих в них. В данном случае рассматривается адекватность протекания физического процесса перемешивания смеси в оборудовании.

Концентрация субстрата в ферментаторе определяется по формуле:

$$S = K_s / (M_{\text{MAX}} - D), \quad (1)$$

где D – скорость разбавления в среде. $D = M$ при постоянных параметрах процесса.

В указанных выражениях рассматривается скорость роста микроорганизмов в функции концентрации субстрата, лимитирующего процесс, и константы насыщения.

Математическую модель проникновения кислорода в клетку можно представить в виде дифференциальных уравнений:

$$dO = K_1 (O_{\text{раб}} - O_{\text{рав}}) dF D \tau, \quad (2)$$

где O – количество кислорода, переходящего из воздушного потока в культуральную среду, кг; K_1 – коэффициент масопередачи при абсорбции кислорода,

кг $O_2 / \text{м}^2 \text{ч}$ (кг $O_2 \text{ м}^{-3}$); $O_{\text{раб}}$ и $O_{\text{рав}}$ – рабочая и равновесная концентрация кислорода в культуральной среде, кг $O_2 \text{ м}^{-3}$; F – поверхность контакта фаз, м^2 ; τ – время абсорбции, ч.

Плотность смеси определится как сумма плотностей газа и жидкости в соответствующих единицах объема, т.е.:

$$P_r = \text{const} \frac{(1-\alpha)}{\alpha} p_{\text{ж}}. \quad (3)$$

Примем, что пузырьки газа полностью увлекаются жидкостью и что при этом давление в пузырьке P_r совпадает с давлением жидкости, а следовательно и смеси в соответствующей точке, температура в газовом пузырьке постоянна, а следовательно, давление P пропорционально плотности P_r , тогда:

$$P = \text{const} \quad p_r = \text{const} \frac{(1-\alpha)}{\alpha} p_{\text{ж}}. \quad (4)$$

Предполагая, что распространение малых возмущений в газожидкостной смеси происходит баротропно, возьмём от обеих частей производную по P :

$$\frac{dp}{dp} = \alpha \frac{dp}{dp} + (1-\alpha) \frac{dp}{dp} + \frac{dp_{\text{ж}}}{dp} + (p_r - p_{\text{ж}}) \frac{dp}{dp}. \quad (5)$$

Тогда будем иметь:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha}{a^2_r} + \frac{(1-\alpha)}{a^2_{\text{ж}}} - \frac{\alpha(1-\alpha)p_r}{P} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_r}{P_{\text{ж}}d^2} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_{\text{ж}}}{p} - \frac{\alpha(1-\alpha)}{a^2_{\text{ж}}}. \quad (6)$$

В третьем слагаемом справа используем изотермичность сжатия газового пузырька и заменим P на $p_i d^2$. Тогда неравенство (7) запишем в форме:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha}{a^2} + \frac{(1-\alpha)}{a^2} \left(1 - \frac{p_2 a^2}{p_{ж} \cdot a^2} \right) + \frac{(1-\alpha)}{d_{ж}^2} - \frac{\alpha \cdot (1-\alpha)}{d_{ж}^2} + \frac{\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot p_{ж}}{P}. \quad (7)$$

Принимая во внимание, что:

$$p_{г} \ll p_{ж}, a_{г} \ll a_{ж} \text{ и } p_{г} d_{г}^2 \ll P_{ж} d_{ж}^2, \quad (8)$$

получим следующую зависимость:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha^2}{d^2} + \frac{(1-\alpha)^2}{d_{ж}^2} + \frac{\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot p_{ж}}{P}. \quad (9)$$

Многофакторный численный эксперимент производительности ферментатора проводился при трех сочетаниях переменных, что позволило остановиться на третьем варианте. На рис.1 приведена структурно-логическая схема экспериментального исследования. Производительность ферментатора рекомендуется рассчитывать учетом поправки по формуле:

$$Q = 0,244 \cdot 10^{-6} V_{пр} 10^6 (n_1^{0,07} \cdot r^{0,105} \rho^{0,58}), \text{ кг/с} \quad (10)$$

$$Q = 0,000878 \cdot V_{пр} (n_1^{0,07} \cdot r^{0,105} \rho^{0,58}), \text{ кг/ч} \quad (11)$$



Рисунок 1 - Структурно-логическая схема экспериментального исследования

Многофакторный эксперимент проведен по программе «Статистика 6» по модулю «фиксированные нелинейные модели». В результате получены следующие данные

Model is: Var4=b0+b1Var1+b2Var2+b3Var3+b11Var1*2+b22Var2*2+b33 (Spreadsheet1)

Dep. Var. : Var4 13Var1*Var3+b23Var2*Var3

Caution: Degenerated result, the values may not correct !!!

	оценка	стандарт	t-value	p-level	Lo. Conf	Up. Conf
b0	19,82	207478664	0,00	0,00	0,00	0,00
b1Var1	-1158,13	141734916	0,00	0,00	0,00	0,00
b2Var2	79,27	321424579	0,00	0,00	0,00	0,00
b3Var3	-1158,13	0	0,00	0,00	0,00	0,00
b11Var1	595,36	0	0,00	0,00	0,00	0,00
b22Var2	598,94	0	0,00	0,00	0,00	0,00
b33Var3	-61,07	70867458	0,00	0,00	0,00	0,00
b12Var1	0,02	0	0,00	0,00	0,00	0,00
b13Var1	0,06	5022259	0,00	0,00	0,00	0,00
b23Var2	0,06	5022259	0,00	0,00	0,00	0,00

Уравнение регрессии в кодовом варианте $\text{Var4} = 19,82 - 1158,13\text{Var1} + 79,27\text{Var2} - 1158,13\text{Var3} + 595,36\text{Var1}^2 + 598,94\text{Var2}^2 - 61,07\text{Var3}^2 + 0,06\text{Var1} * \text{Var3} + 0,06\text{Var2} * \text{Var3}$ (12)

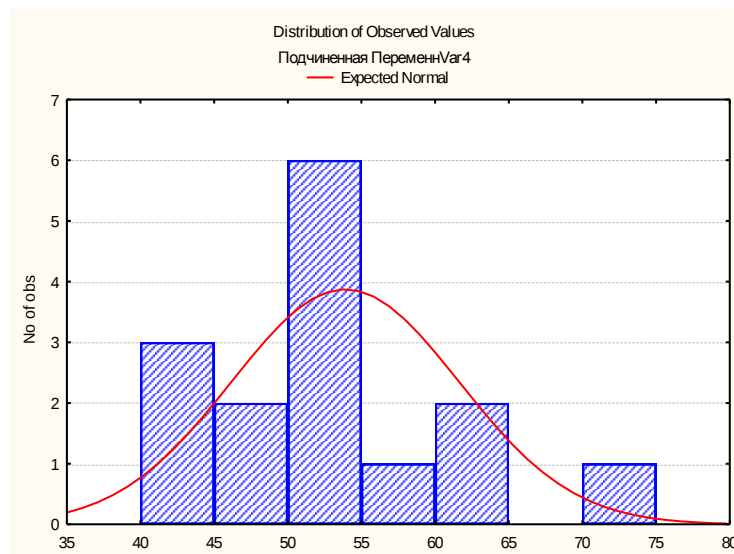


Рисунок 2-Гистограмма измеренных данных

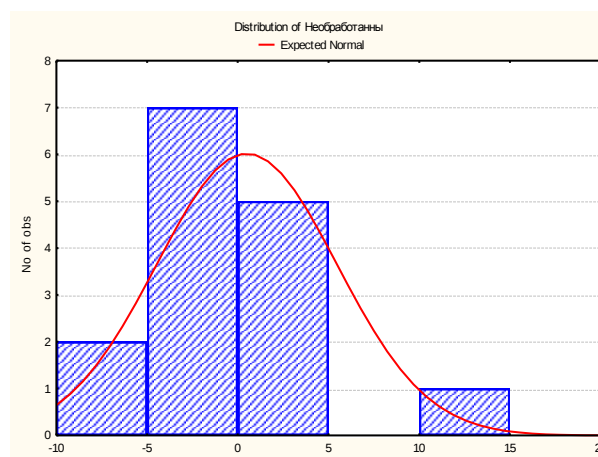


Рисунок 3- Гистограмма остатков

Вывод: Приведена структурно-логическая схема экспериментальных исследований. Полученные графики показывают, что производительность имеет оптимум при нулевых значениях всех факторов, то есть в кодовом варианте оптимум составляет по числу, по удельному потреблению кислорода, по объемной массе субстрата.

Список литературы

1. Кокиева, Г. Е. Разработка методики экспериментального изучения масштабирования основных параметров ферментатора / Г. Е. Кокиева // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 5. – С. 28-33.
2. Кокиева, Г. Е. Эксплуатация ферментатора в сельском хозяйстве: монография / Г. Е. Кокиева-Барнаул, 2016. – 120 с.
3. Кокиева, Г. Е. Система автоматизации регулирования работоспособности оборудования (аппарат для культивирования микроорганизмов): монография / Г. Е. Кокиева, И. Б. Шагдыров, Ю. А. Шапошников – Барнаул, 2016. – 116 с.

05.13.00

**Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, И.Б. Елтунова канд. пед. наук,
В.В. Рабданова канд. эконом. наук**

Федеральное агентство связи

Бурятский институт инфокоммуникаций (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Улан-Удэ

**ПРОВЕДЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПУТЁМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-124-126

Данный многофакторный эксперимент проведён с целью выявления уровня влияния факторов на производительность оборудования и получения математической модели, адекватно описывающей процесс происходящий в в предлагаемом аппарате. Данный аппарат имеет компактную конструкцию и удобен в применении.

Ключевые слова: производительность оборудования, многофакторный численный эксперимент, зависимости процесса микробиологического синтеза, уровень варьирования соответствующего фактора, матрица многофакторного численного эксперимента.

С целью интенсификации процесса микробного синтеза автором предлагается наиболее перспективное оборудование – ферментатор, с механическим перемешивающим устройством в виде трёхъярусных мешалок различной конструкции, и аэрирующего полового вала для подвода кислорода.

Процесс разработки состоит из двух составляющих:

- разработки алгоритма для совершенствования оценки основных переменных процесса биосинтеза по получаемой статистической информации;
- разработки алгоритма детерминированного управления процессом глубинного периодического культивирования микроорганизмов.

Оптимизация и управление биотехнологическим процессом требуют построения математических моделей, описывающих количественные связи между основными параметрами микробного синтеза. Оценка результатов проводится с использованием корреляционного и регрессивного анализа.

Для синтеза модели процесса, предназначенной для решения задачи оптимального уравнения, принимаются следующие допущения:

- реальный процесс можно представить математической моделью, определяющей характер связи между существенными переменными и управляющими взаимодействиями и содержащей рациональное число уравнений;
- только один компонент в культивируемой питательной среде в подпитывающем растворе, окружающем растущие клетки в культуральной среде, обуславливает скорость роста микроорганизмов и вместе с тем влияет на скорость микробного синтеза получения белково-витаминного концентрата, остальные составные компоненты культуральной питательной среды находятся в избытке по отношению к их потребности;

Оптимальное значение удельного потребления кислорода $x_2 = (r^{0,105}) = 0,50$, $r = 0,0012 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{с}$ при постоянном значении оборотов вала мешалки $x_1 = 1,36$ ($n=75$ об/мин) и объёмной массы субстрата $x_3 = 55$ ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Оптимальное значение объёмной массы субстрата $x_3 = 52,26$, $\rho = 917 \text{ кг/м}^3$ при постоянном значении удельного потребления кислорода $x_2 = 0,69$ ($r = 0,030 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{с}$) и оборотов вала мешалки $n = 75$ об/мин.

Оптимизировать продикторы по данным численного эксперимента не представляется возможным, можно получить рациональные значения.

При определенных условиях (например, при избыточной подаче кислорода) наибольшее влияние оказывает объемная масса субстрата x_3 (с большим по сравнению с другими продикторами углом подъема прямой зависимости).

На основании проведенного многофакторного численного эксперимента по данным (рисунок 1) можно принять, что рациональными являются (при принятых технологических и конструктивных параметрах экспериментируемой технологии производства белково-витаминного концентрата) следующие значения продикторов: $x_1 = (n^{0,07}) = 1,22$; $n = 18$ об/мин; $x_2 = (r^{0,105}) = 0,73$; $r = 0,030$ кг/кг с; $x_3 = \rho^{0,58} = 60$, $\rho = 1150$ кг/м³.

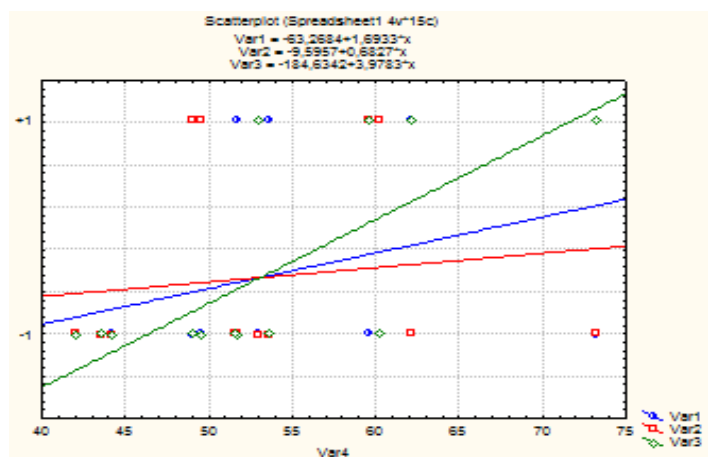


Рисунок 1 – Зависимость продикторов от отклика

На рисунке 2 приведен график теоретической и экспериментальной зависимости производительности экспериментального ферментатора от плотности субстрата с учётом поправочного коэффициента $K = 0,85 \cdot Q_{\text{теор}}$ при постоянных переменных: удельного потребления кислорода ($x_2 = 0,71$, $r = 0,04$ м³/м³с) и оборотов вала мешалки ($x_1 = 1,36$, $n = 73$ об/мин).

Критерий $t = 3,259 < 3,707$ (критического) при уровне значимости 0,01, то есть независимые выборки принадлежат к одной совокупности при уровне значимости $0,05 > p > 0,01$. Уровень значимости полученных результатов (F – критерия) $p = 0,805 > 0,75$, то есть согласие теоретических и экспериментальных данных хорошее.

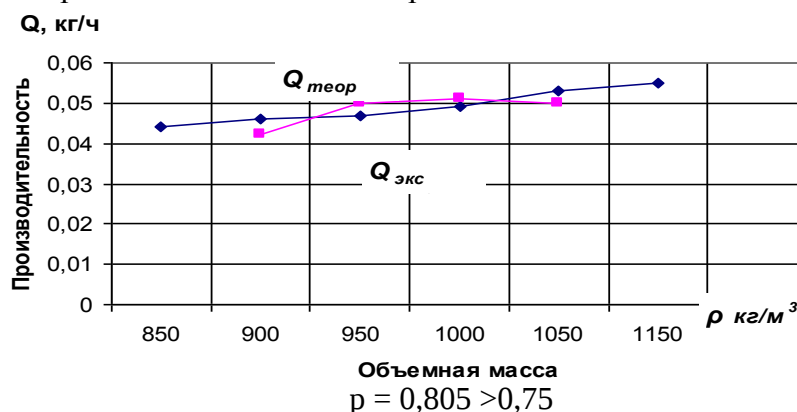


Рисунок 2– График теоретической и экспериментальной зависимости производительности экспериментального ферментатора от плотности субстрата с учётом поправочного коэффициента $K = 0,85 \cdot Q_{\text{теор}}$ при постоянных переменных: удельного потребления кислорода ($x_2 = 0,71$, $r = 0,04$ м³/м³с) и оборотов вала мешалки ($x_1 = 1,36$, $n = 73$ об/мин)

Вывод: На основании проведенного многофакторного численного эксперимента путем применения информационных технологии по данным (рис.1) можно принять, что рациональными являются (при принятых технологических и конструктивных параметрах экспериментируемой технологии производства белково-витаминного концентрата) следующие значения продикторов: $x_1 = (n^{0,07}) = 1,22$; $n = 18$ об/мин; $x_2 = (r^{0,105}) = 0,73$; $r = 0,030$ кг/кг с; $x_3 = \rho^{0,58} = 60$, $\rho = 1150$ кг/м³.

Список литературы

1. *Кокиева, Г. Е.* Система автоматизации регулирования работоспособности оборудования (аппарат для культивирования микроорганизмов): монография / Г. Е. Кокиева, И. Б. Шагдыров, Ю. А. Шапошников – Барнаул, 2016. – 116 с.
2. *Кокиева, Г. Е.* Эксплуатация ферментатора в сельском хозяйстве: монография / Г. Е. Кокиева-Барнаул, 2016. – 120 с.
3. *Кокиева, Г. Е.* Система автоматизации регулирования работоспособности оборудования (аппарат для культивирования микроорганизмов): монография / Г. Е. Кокиева, И. Б. Шагдыров, Ю. А. Шапошников – Барнаул, 2016. – 116 с.

05.13.06

С.В. Латухов¹ д-р географ. наук, Н.В. Першин²¹ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»,

кафедра «Безопасность жизнедеятельности», Санкт-Петербург

²ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва**РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-127-131**

Рассмотрены вопросы рационального построения транспортно-технологических систем при перевозках сжиженного природного газа в Арктике. Рассмотрена роль информационно-аналитической системы управления размещением производства как центра получения и анализа всей информации по размещению и функционированию производства сжиженного природного газа. Показано, что такая задача является многокритериальной. Установлено, что основным количественным критерием для выбора рационального размещения производства сжиженного природного газа является себестоимость продукта. Определено, что рациональное решение при множестве паретовских решений предполагает использование метода последовательных уступок, который сводит решение задачи по многим критериям к максимизации оцениваемых критериев по очереди и определению уступок, которые характеризуют отклонение приоритета одних критериев перед другими. В результате решения устанавливается потребное количество судов, которое обеспечивает с определенной надежностью бесперебойный режим функционирования всей системы.

Ключевые слова: транспортно-технологические системы, перевозки, сжиженный природный газ, гидрометеорологические условия, Арктическая зона, автоматизированный проектный комплекс.

В задаче перевозки СПГ суда - газовозы имеют важное значение в функционировании всего комплекса перегрузки и производства СПГ. Часто перевозку СПГ и прокачку его по трубопроводам противопоставляют. Однако мировой, в том числе и российский, опыт показывает, что трубопроводы и транспортировка СПГ не конкуренты, а партнеры [8, 9, 13].

Для учета взаимовлияния всех факторов перевозки в каждом проекте транспортирования СПГ применяют транспортно-технологические системы, состоящие из завода СПГ, терминала отгрузки с хранилищами СПГ, судов-газовозов, вспомогательных судов – ледоколов и буксиров, терминала для приема, включая завод по регазификации и хранилища ПГ, газопроводов, которые ведут к потребителям ПГ.

Подобные разработки требуют расчета многовариантных схем производства и транспортировки СПГ с целью выбора наиболее приемлемого варианта [14, 15].

Для этого необходимо создать специальный автоматизированный проектный комплекс (АПК) (рис. 1).

Главный элемент структуры АПК - информационно-аналитическая система управления размещением производства (ИАС УР), являющаяся центром получения и анализа всей информации по размещению и функционированию производства СПГ (рис. 2) [10].



Рисунок 1 - АПК для определения рациональной системы транспортирования СПГ.

ИАС УР - информационно-аналитическая система управления размещением производства

Модель СМО – модель системы массового обслуживания.

Расчет ТТС – расчет транспортно-технологической системы.

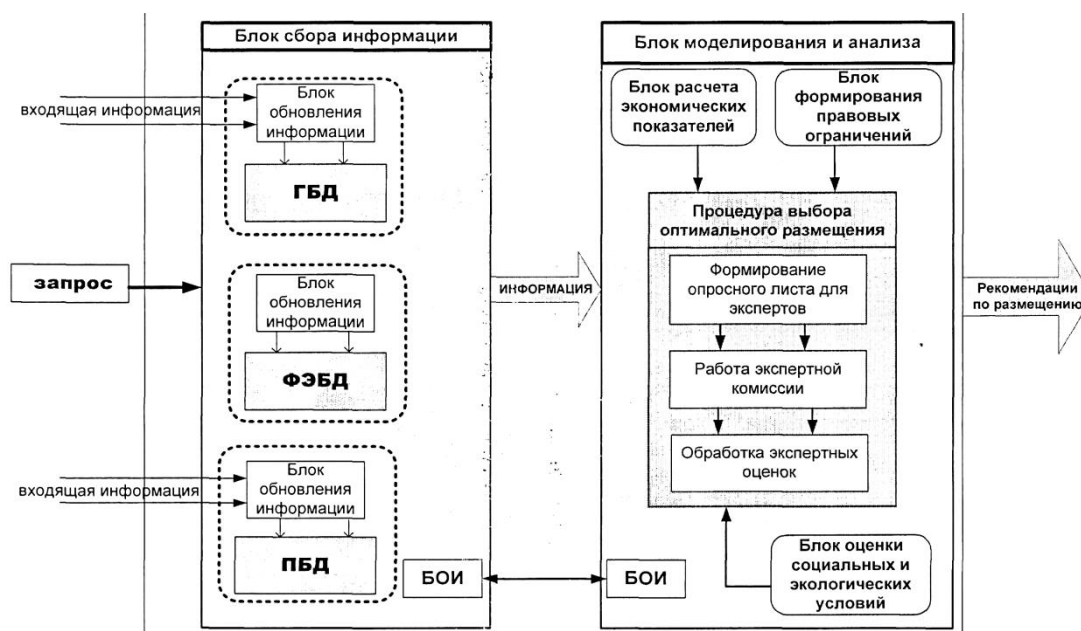


Рисунок 2 - Структурная схема ИАС УР.

ГБД - геоинформационная база данных; ФЭБД - финансово-экономическая база данных;
ПБД – правовая база данных.

Главной задачей здесь является выбор места размещения производства СПГ в районах Арктической зоны там, где имеются месторождения газа [11, 12, 17]. При построении АПК для определения рациональной системы транспортирования СПГ необходимо обосновать выбор оптимального месторасположения производства СПГ. В этом случае, удобно применить алгоритм экспертных оценок [2, 10]. Основу этого алгоритма составляет аналитическая модель управления размещением. Она является модификацией способа уступок последовательно с методом оценки эффективности решений по доминанте. Далее, необходимо определить нужное число судов-газовозов, их грузоподъемность [3, 4].

Такое определение удобно осуществлять с использованием аппарата теории массового обслуживания (СМО) [1, 10].

Анализ показал, что задача выбора рационального расположения производства с учетом заданных условий является многокритериальной. Многокритериальность указывает на наличие нескольких показателей $W_1, W_2, W_n, \dots$, причем одни нужно привести к максимуму, другие – к минимуму [16]. Для решения задачи определения рационального месторасположения производства СПГ в районе Арктической зоны создается рабочая группа (РГ), которая взаимодействует с экспертными комиссиями. Основной количественный критерий для выбора оптимального размещения производства СПГ - это себестоимость продукта $R(\$/т)$. Конечная цена СПГ – затраты на производство и расходы на транспортировку СПГ [7, 8].

Необходимо учитывать гидрометеорологические условия в Арктической зоне и увеличение транспортных расходов при использовании вспомогательных судов [5, 6]. По каждому из критериев, формируемых РГ, производится оценка участков Арктической зоны $Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_n$ по 100 - балльной системе [7].

В матрице решений оценки экспертов фиксируются, при этом максимальная величина оценки j - го участка по i - му критерию оценки $Y_{ij} = 100$ баллов. Для каждого i -го критерия берется максимально возможное значение и записывается в поле матрицы - $\max_j Y_{ij} = \hat{Y}_i$. У каждого j -го участка по каждому i -му критерию определяется показатель Δ_{ij} отклонения от максимума:

$$\Delta_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_i, \quad (1)$$

Y_{ij} - количество баллов на j -ом участке и критерию с номером i .

Кроме оценки участков по баллам, эксперты оценивают вес каждого критерия P_j также в 100 - балльной системе. Далее, строится оценочная диаграмма с помощью метода последовательных уступок [9].

Оценочная диаграмма наглядно представляет результаты матрицы решений. Первый показатель для определения оценочной диаграммы – это величины по каждому участку критерия, который выбран как основной, а второй - значения модуля выбраковки S_j - величина критерия, нужная для рассмотрения всех экспертных баллов по каждому участку для всех критериев.

$$S_j = \sum_i \Delta_{ij} \cdot P_i. \quad (2)$$

Для каждого участка Y_j определяется модуль выбраковки, он является отрицательной величиной, поскольку входящие в него показатели отклонения Δ_{ij} определяются отрицательными или равными нулю величинами. При выборе оптимального участка стремятся к минимизации абсолютной величины S_j , так как это отклонение в сумме от значений каждого из критериев на максимум. Для решения применяют метод доминирования неэффективных решений.

При решении исходя из наличия множества паретовских решений удобно использовать метод последовательных уступок, с помощью которого можно привести решение задачи по многим критериям к максимизации оцениваемых критериев по очереди и определению уступок, характеризующих отклонение приоритета одних критериев перед другими. В многокритериальной задаче необходим качественный анализ относительной важности критериев. Здесь, критерии расположены и пронумерованы в порядке убывания их важности, критерий K_1 максимизируется и устанавливают его наибольшее значение - P_j . Потом определяется величина допустимой уступки $\Delta_1 > 0$ критерия K_1 и отыскивается наибольшая величина P_2 второго критерия K_2 соблюдая условие, что величина первого критерия не меньше, чем $Q_1 - \Delta_1$. После чего, определяется значение уступки $\Delta_2 > 0$ по критерию 2, которое вместе с 1 применяется при нахождении условного максимума для критерия 3 и т. д. В итоге, последний по приоритетам критерий K_j приходит к максимуму.

Используя метод последовательных уступок и можно вычислить приоритетность критериев оценки и веса для этих критериев P_j в матрице решений.

Определим необходимое количество судов - газозовов для обеспечения бесперебойной работы производства СПГ.

Свяжем объемы СПГ со своевременной подачей судов - газозовов для вывоза с терминала. Для расчетов удобно использовать теорию систем массового обслуживания (СМО) [7].

В нашем случае, система представляет собой одноканальную СМО без ограничений на очередь, с свойствами потока заявок (потока продукции завода СПГ) и потока обслуживания (потока вывоза СПГ).

Закон равномерного распределения плотности вероятностей описывает поток производства СПГ:

$$f(x) = \frac{1}{\beta - \alpha}. \quad (3)$$

α, β - диапазон колебания производительности производства.

Границы графика плотности вероятности

$$\alpha = m(1 - \Delta); \beta = m(1 + \Delta), \quad (4)$$

m - средняя производительность,

Δ - максимальная величина относительного отклонения.

Коэффициент вариации для закона равномерной плотности:

$$\nu = \frac{\beta - \alpha}{\sqrt{3(\alpha + \beta)}}, \text{ или } \nu = \frac{2m\Delta}{\sqrt{3m}} = \frac{2\Delta}{\sqrt{3}}.$$

Например, при тах отклонении $\Delta = 0,05$ (или 5%) коэффициент вариации будет равен 0,058. В условиях арктической зоны производство СПГ будет отклоняться от идеального,

поэтому закон распределения равномерного распределения плотности вероятностей изменится. Как показано в исследованиях, асимметрия в Арктической зоне определит сдвиг моды вправо на величину $\Delta/2$, а Δ будет еще больше [10]. Поток обслуживания (вывоз продукции) зависит от производства, и вероятностный закон распределения в нем будет таким же, как и входной поток заявок. При работе судов в Арктической зоне значительно увеличивается количество случайных воздействий на обслуживающий поток, и с большой степенью приближения его можно считать нормальным. Суда - газовозы для вывоза СПГ - однотипные. СПГ поступает в резервуары хранения с заданной интенсивностью λ (т/сут).

Интенсивность поступления судов μ (т/сут) - величина, обеспечивающая непрерывную отгрузку СПГ.

$$\mu^* = \frac{\mu}{D_q}, \quad \lambda^* = \frac{\lambda}{D_q},$$

λ^* - значения потока потребности в судовом поступлении (суд/сут);

μ^* - значения потока судового поступления (суд/сут);.

D_q - грузоподъемность судна.

Для этого случая λ : $\lambda = \frac{P_c}{360}$, (5)

P_c - годовой объем производства СПГ, 360 - число раб. дней в году.

Нужное количество судов N при бесперебойном вывозе СПГ:

$$N = \mu^* \cdot \bar{t}_p, \quad (6)$$

$\bar{t}$ - среднее время рейса (сут).

Фактор максимально возможного хранения СПГ в резервуаре при не превышении допустимых потерь из-за испаряемости - $t_{ож}$.

Согласно формулам Файнберга и Литтла для $t_{ож}$ можно записать [5]:

$$\bar{t}_{ож} = \frac{\rho^2(V_{\lambda^*} + V_{\mu^*}^2)}{2\lambda^*(1-\rho)}, \quad (7)$$

V_{μ^*} - коэффициент изменения в прибытии судов;

V_{λ^*} - коэффициент изменения при поступлении груза.

Анализ показал, что задача транспортировки СПГ является многокритериальной. При выборе рационального построения транспортно-технологической системы также необходимо учитывать правовые, социальные и экологические ограничения. Это можно осуществить, используя метод экспертных оценок, который позволяет оценить ограничения, влияющие на размещение производства СПГ. Для решения задачи транспортировки СПГ удобно применить метод доминирования неэффективных решений. Решение при множестве паретовских решений предполагает использование метода последовательных уступок, который сводит решение задачи по многим критериям к максимизации оцениваемых критериев по очереди и определению уступок, которые характеризуют отклонение приоритета одних критериев перед другими. При работе судов в Арктической зоне значительно увеличивается количество случайных воздействий на обслуживающий поток, и с большой степенью приближения его можно считать нормальным. В результате решения задачи рационального определения транспортно-технологических систем при производстве СПГ определяется количество судов, которое обеспечивает с определенной надежностью бесперебойный режим функционирования всей системы.

Список литературы

1. Meshcherin I.V. Alternative methods for gas transportation to markets and their diversification (In Russ.). Moscow, Gazprom VNIIGaz, 2011, 280 pp.
2. Peters, G.P. Future emissions from oil, gas, and shipping activities in the Arctic / G.P. Peters et al. // -Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. -2011. -№11 (2). -P. 4913-4951.
3. Sand, M. Arctic surface temperature change to emissions of black carbon within Arctic or midlatitudes / M. Sand, T.K. Berntsen, O. Seland, J.E. Kristjansson // -Journal of geographical research: Atmospheres. -2013. -№118 (14), - P. 7788-7798.
4. Schoyen H. & Brathen S. The Northern Sea Route versus the Suez Canal: Cases from bulk shipping, Journal of Transport Geography, 2011, 19 (4), pp. 977—983.
5. Stokke O.S. Regime Interplay in Arctic Shipping Governance: Explaining Regional Niche Selection, International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 2013. 13 (1), pp. 65—85.
6. Winther, M. Emission inventories for ships in the Arctic based on satellite sampled AIS data / M. Winther et al // -Atmospheric Environment. -2014. -№91 (4), -P. 1-14.
7. Акимов И. Ю. Экспорт российского природного газа: проблемы и перспективы развития: диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.14. - Москва, 2005. - 194 с.
8. Евдокимов Г. Арктический транспортный флот // Раздел 4.5 в монографии «Морская стратегия России и приоритеты развития Арктики» / Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2012. С. 170-173.
9. Евдокимов Г.П., Высоцкая Н.А., Костылев И.И. Перевозки по Северному морскому пути и развитие арктического флота / Стратегия морской деятельности России и экономика природопользования в Арктике. IV Всероссийская морская научно-практическая конференция: материалы конференции. Мурманск, 07–08 июня 2012 г. Мурманск: изд-во МГТУ, С. 99-101.
10. Касаткин Р. Г. Методика обоснования логистической системы морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.19 / Гос. мор. акад. им. адмирала С.О. Макарова. - С-Пб, 2006. - 23 с.
11. Комарова Е. Портовые особые экономические зоны России: перспективы развития. Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2010. № 3. Ч. 2., С. 110-112.
12. Комков, Н.И. Направления модернизации арктической морской транспортной системы / Н.И. Комков, В.С. Селин, В.А. Цукерман // -МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). - 2014. -№ 4(20). -С. 4-11.
13. Крестьянцев, А.Б. Морские перевозки СПГ: современное состояние и пути оптимизации транспортных систем / А.Б. Крестьянцев, А.М. Луцкевич, О.В. Таровик // -Neftegas.ru. -2015. -№5. -С. 32-37.
14. Крестьянцев, А.Б. Суда-газовозы на трассах СМП / А.Б. Крестьянцев, А.М. Луцкевич, О.В. Таровик // -Морской флот. -2012. -№06/1504. -С. 14-19.
15. Крестьянцев, А.Б. Транспортировка сжиженных газов с использованием судов смешанного плавания / А.Б. Крестьянцев, А.М. Луцкевич, О.В. Таровик // -Neftegas.ru. - 2013. -№1-2. -С. 42-48.
16. Мармохина Е.В., Юрлов Ф.Ф. Использование принципов теории многокритериального выбора при оценке эффективности экономических систем // Молодой ученый. - 2014. - №11.- С. 216-220.
17. Разработка стратегии освоения и системного развития северных, полярных и арктических территорий / Под общ. ред. акад. РАН А. И. Татаркина. - Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН; СПб.: Нестор-История, 2014. - 510 с.

05.13.11

**Д.А. Лобанов, Е.В. Бражникова канд. техн. наук, А.М. Романов канд. техн. наук,
Л.В. Казанцева**

Московский технологический университет (МИРЭА)
tty66@mail.ru, bra_vt@mail.ru, a_romanov@mirea.ru, larakazantseva@gmail.com

ПРОГРАММНАЯ ЭМУЛЯЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-132-136

Рассмотрена задача создания программного эмулятора микроконтроллера Atmel AVR atmega 8, который позволит минимизировать затраты на его изучение и выполняет роль аппаратного стенда. Приводится описание общей архитектуры, методики и алгоритма проектирования программной реализации, процесса функционирования ядра эмулятора и принципа его сопряжения с пользовательским интерфейсом.

Ключевые слова: эмуляция микроконтроллера, архитектура avr, программная эмуляция, виртуальный микроконтроллер.

Введение

Наибольшую известность фирма Atmel получила на рынке 8-разрядных микроконтроллеров AVR. Это однокристальные микроконтроллеры, которые имеют чрезвычайно большую область применения из-за высокой производительности и интеграции встроенных устройств, низкого энергопотребления и имеют относительно небольшие размеры. С описанием 8-разрядных микроконтроллеров AVR можно ознакомиться в [1-3]. Контроллеры этого семейства способны длительное время работать от батарейного источника питания в таких приложениях, как приборы с жидкокристаллическим индикатором, управление освещением, системы безопасности, автоматизация бытовых приборов и устройств. При создании таких устройств используется технология рiсoPower [4], когда тщательно продумывается вся методология проектирования микроконтроллеров, геометрия процесса и даже тип используемых транзисторов.

Для получения более полного представления о специфике работы микроконтроллера, а также его программировании важную роль играют практические работы с отладочными платами и лабораторными стендами.

Основной проблемой при этом является стоимость и доступность такого оборудования. Каждое лабораторное место требует, помимо программного комплекса для разработки прошивки как минимум стенда, включающего в себя соответствующий микроконтроллер, внешнюю периферию, источника питания для подключения отладочной платы, вспомогательных устройств для программирования и отладки. Учитывая это затраты на оснащение лаборатории могут достигать весьма серьёзных сумм, альтернативой в этом случае может служить программный эмулятор, который может выполнять роль аппаратного стенда и также предоставлять ряд дополнительных возможностей. Идея, конечно, не нова, и существует достаточное большое количество зарубежных программных эмуляторов. Однако их цена держится на очень высоком уровне [5].

1. Постановка задачи

Представленная система разрабатывается как 2 модуля: модуль ядра, реализуемый как динамическая библиотека на языке C++ с добавлением внешнего API (Application Programming Interface –интерфейс прикладного программирования) на базе Visual C++/CLR и модуль пользовательского интерфейса на языке C#. Такая архитектура позволяет при необходимости подключать ядро эмулятора в состав других систем, позволяет сократить время на разработку и модификацию пользовательских интерфейсов. При разработке были определены следующие приоритеты: 1)быстродействие функций ядра; 2)самодостаточность ядра, его независимость от интерфейса пользователя; 3)гибкость и простота расширения ядра эмулятора, возможность автоматизированного тестирования API ядра.

При создании программ эмуляции как правило применяют языки программирования, ориентированные на низкий уровень, например, С или С++. Их особенностью является наличие типов данных, наиболее близко соответствующих низкоуровневым, в том числе нетипизированные указатели и широкий набор операций над памятью и ее интерпретации. Отсутствие или неполная поддержка средств многопоточности не является недостатком для такой задачи, поскольку однопоточная последовательная архитектура позволяет правильно выполнять и синхронизировать имитируемые узлы. При всем многообразии способов реализации эмуляторов можно выделить несколько общих этапов: 1) сбор информации о работе имитируемой системы; 2) анализ и выбор программных методик и алгоритмов синхронизации; 3) составление методики тестирования реализуемой системы; 4) составление плана разработки, тестирования и подбор программных средств для реализации проекта.

2. Общее описание проектируемой системы

В данной программе предусмотрено модульное разделение интерфейса пользователя и ядра эмуляции. Для большей гибкости ядро реализовано как класс С++, обернутый в класс-обертку с поддержкой CLI (Scan Line Interleave – чередование строк), такой подход позволяет загружать ядро, как компонент общезыковой среды исполнения NET Framework. В случае переноса проекта на другую ОС или программный каркас достаточно просто взять «чистый» класс ядра и добавить его в новый проект.

Интерфейс пользователя реализуется как запускаемое приложение на языке С#, с поддержкой WPF (приложение Windows Presentation Foundation [6]) и предусматривает 2 окна (рис.1):

- Главное окно (класс MainWindow): содержит элементы управления исполнением, загрузкой кода и средства обзора регистров и памяти микроконтроллера и скоростью исполнения программы в режиме непрерывного выполнения.
- Окно управления периферией (класс ComandPanel): содержит элементы управления имитацией внешних устройств и средств индикации.

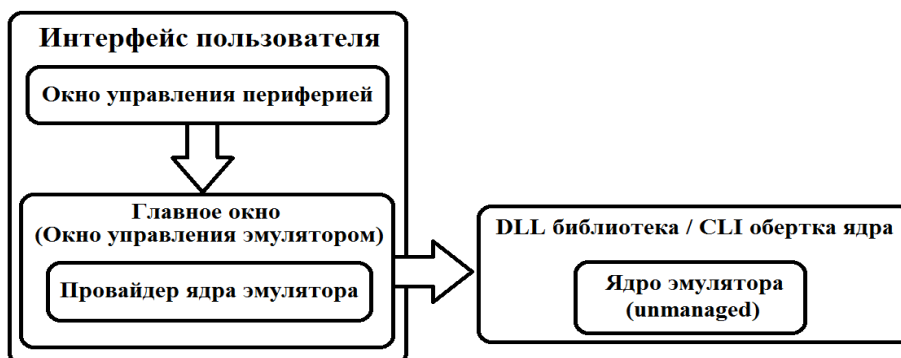


Рис. 1. Общий вид структуры системы

Работа с ядром осуществляется через класс-провайдер, содержащий в себе .NET Framework компонент ядра. Ядро эмулятора должно содержать в себе функции, позволяющие: загрузить программный код; выполнить загруженную программу; получать данные о состоянии эмулятора во время выполнения; передать / получить сигналы на имитируемую периферию.

Наборы этих функций составляют API библиотеки и дополняются служебными вызовами необходимыми для получения информации такой как: трансляция имен регистров в адреса, дизассемблирование загруженной программы, считывание областей памяти имитируемого микроконтроллера и функции инициализации.

3. Алгоритмы программной реализации

Ядром эмулятора представлено модулем «AVRSystem». Алгоритм эмуляции основывается на использовании одного главного потока с циклом, который можно разбить на несколько стадий (ступеней):

1. Синхронизация и обработка такта для имитируемой периферии;
2. Выборка команды из программной памяти;

3. Селекция и исполнение операционного кода (опкод), обновление счетчика команд.

Цикл начинается с обработки таймеров: вызывается функция логики блока делителя частоты, далее по очереди обрабатывается каждый из таймеров счетчиков. После запускается обработка логики блока аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и функции преобразования, за ней следует вызов функции обработки блока портов ввода/вывода и блока контроллера прерываний. На этом ступень обработки периферии заканчивается и происходит запуск ядра команд, отвечающего за первые две ступени.

Выборка команды является простой операцией чтения слова из программной памяти микроконтроллера, косвенная адресация памяти эмулятора использует в качестве указателя программный счетчик ProgramCounter из структуры generalRegisters, относящейся к типу CPURegisterMap (рис. 2).

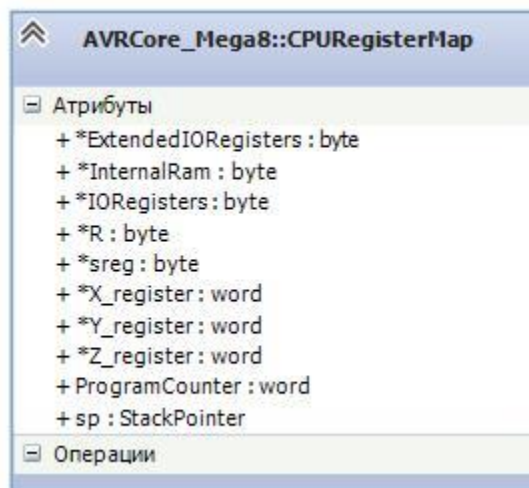
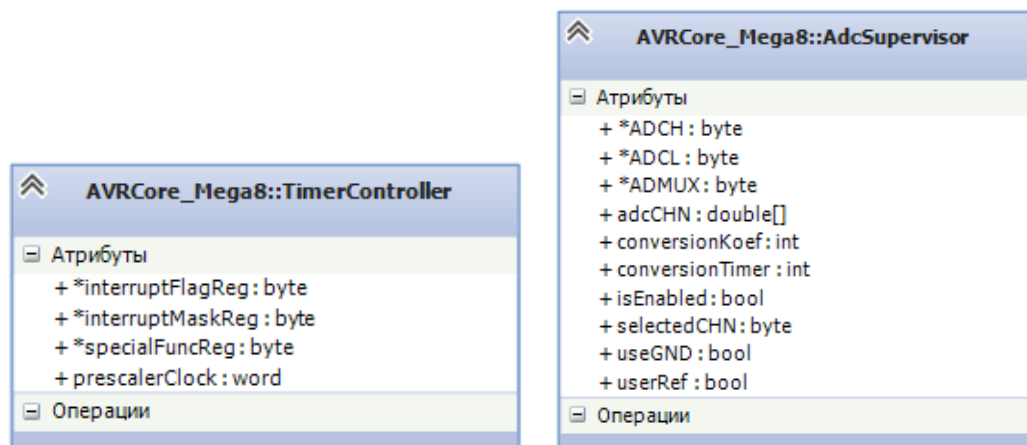


Рис. 2. Диаграмма структуры CPURegisterMap

Алгоритм селекции разбит на пять последовательно вызываемых функций, каждая из которых анализирует извлечённое из памяти слово, накладывая битовую маску и сравнивая полученный результат со своим словарем опкодов, в случае совпадения происходит его выполнение и выход из блока селекции, иначе вызывается следующая функция сравнения.

Имитация работы таймеров включает два типа вызовов, один на обработку логики блока делителя частоты и вызов обработчика логики таймера. Данные ассоциированные с блоком делителя содержатся в структуре типа TimerController (рис.3, а).

Алгоритм работы делителей заключается в инкременте 10 битовых регистров таймера (prescalerClock) делителя и проверки флагов сброса на каждый такт. При этом работа АЦП разбита на 2 этапа: обработку конфигурации и функцию преобразования. Работа с конфигурацией происходит через структуру AdcSupervisor (рис.3, б).



а)

б)

Рис. 3. Диаграммы структур: а) TimeController; б) AdcSupervisor

Начинается выполнение алгоритма с выбора канала, задаваемого в файловом регистре ADMUX. Далее проверяется флаг разрешения работы АЦП и флаг начала преобразования в регистре управления ADCSRA. Бит ADEN разрешает работу АЦП, ADSC запускает преобразование. После проверяется, что АЦП запущен и таймер конвертера, обеспечивающий задержку, завершил отсчет, в случае выполнения этих условий происходит запись обновленного значения в файловые регистры, и выставка флага прерывания.

Обработка логики портов ввода / вывода состоит в наложении конфигурационных масок на выходные сигналы и записи результатов в регистры PINx. Каждый порт представлен структурой PortSupervisor, на которой строиться логика взаимодействия с портами через API (рис.4, а).

Логика работы контроллера разбита на 3 этапа. Работа алгоритма начинается с вызова, который проверяет флаги разрешения прерываний и условия необходимые для их запуска. В процессе проверки участвуют регистры SREG (статуса), GICR (запрет/разрешение прерываний по сигналам на входах), MCUCR (MCU Control Register – регистр управления), ADCSRA и структура IRCSupervisor (рис.4, б).

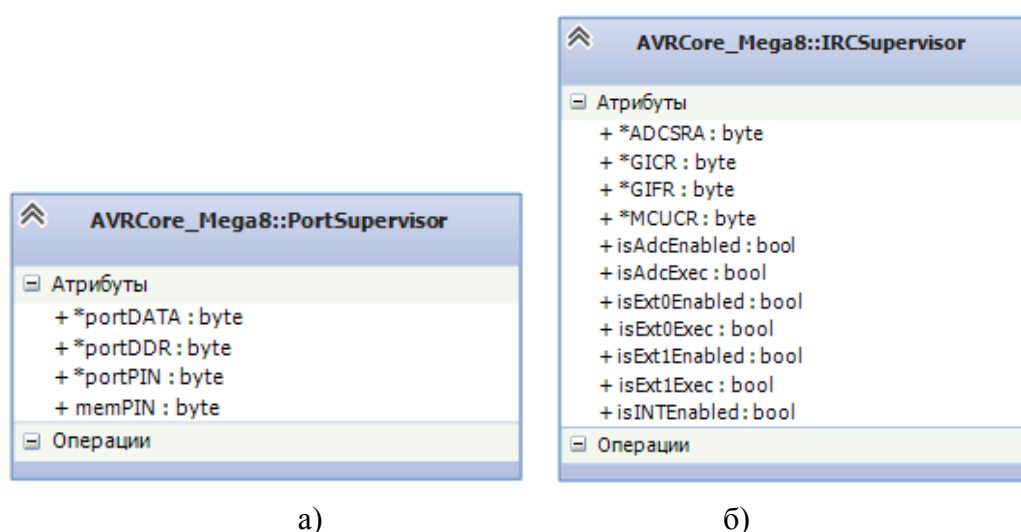


Рис. 4. Диаграммы структур: а) PortSupervisor; б) IRCSupervisor

Во время выполнения функция извлекает флаги разрешения прерываний и параметры из регистров МК. Далее выполняется анализ внешних прерываний INT0 / INT1 микроконтроллера. Считывается состояние фронта на порту D и сопоставляется с битами конфигурации прерывания из регистра MCUCR, в случае корректной комбинации выставляться флаг запуска соответствующего прерывания.

После завершения обработки параметров выполняется вызов, отвечающий за запуск прерываний. Функция производит анализ флагов запуска для каждого из прерываний и в случае, если он выставлен, инициирует его исполнение. После возврата из обработчика происходит сброс соответствующего флага в регистре GIFR (General Interrupt Flag Register – общий регистр флагов прерываний). Функция исполнения прерывания проверяет адрес обработчика и в случае корректности параметров производит переход по вектору прерывания.

Кроме функций эмуляции ядро включает в себя встроенный однопроходный дизассемблер программной памяти. Данная функция позволяет упростить процесс отладки и понимания работы программы, поскольку в дизассемблированном виде листинг представляет собой проекцию машинных команд в программной памяти в формате AVR ASM кода. Алгоритм работы близок по строению к алгоритмам селекции и исполнения команд, за исключением того, что команды не исполняются, а записываются в память листинга ядра. Так же механизм дополнен ветками для обработки «пустых» областей памяти и неизвестных команд (например, команд сгенерированных для других моделей МК, опкоды которых отсутствуют в ядре эмулятора). В работе алгоритма так же учувствует словарь преобразований регистровых адресов, содержащий данные для трансляции адресов файловых регистров в понятную для пользователя форму.

Функция прохода, выполняет процесс дизассемблирования и выборку команд из памяти для блоков селекции. Как и в случае с исполнением алгоритм поочередно выгружает слова из программной памяти и передает их функциям анализа, в случае успешного обнаружения в словаре алгоритм анализа возвращает true и начинает работа со следующим словом.

Модуль-обертка CLI «AVR8_Core» предназначен для подключения ядра эмулятора к интерфейсу пользователя и обеспечивает его интеграцию в .NET Framework.

Функции данного класса являются надстройками над API ядра и содержат в себе кроме вызовов самого ядра дополнительные преобразования типов, обеспечивающие передачу данных между CLI и non-CLI средами.

В качестве основного компонента, модуль пользовательского интерфейса содержит класс-провайдер AVR8_Core и предоставляет функционал ядра через свои вызовы. Класс реализует ряд интерфейсов для логического разграничения функционала:

- Интерфейс IGeneralIO – представляет из себя абстрактное устройство, имеющее порты ввода / вывода.
- Интерфейс IDisassembler – представляет функции дизассемблирования.
- Интерфейс IAdc – представляет абстрактное устройство с функциями АЦП.
- Интерфейс ICore – представляет абстрактное устройство-микроконтроллер, наделенное только базовыми функциями без периферии.
- Интерфейс IRegisterMap – представляет компонент с сервисами для расширенной работы с регистрами.

Большинство функций класса реализуют наследованные интерфейсы и являются частичными обертками для класса-провайдера. Модуль так же содержит вызов, который имитирует работу программатора. Вызываемый алгоритм конвертирует загружаемые данные в формат «плоской» памяти и загружает их в программную память ядра.

В модуле дополнительно представлен функционал расширенной работы с регистрами, в рамках которого реализован вызов конверсии строчного имени регистра в его адрес.

Для его работы системе требуется словарь, содержащий пары имя-адрес. Сами данные для него должна предоставлять библиотека ядра (в противном случае нарушается принцип модульности из-за дробления данных одной сущности в разные компоненты). В тоже время ручное написание инициализации структуры внутри библиотеки потребует внедрение дополнительных механизмов преобразования типов и в случае использования данной библиотеки вне CLI среды будет лишней операцией инициализации.

Решение этой задачи осуществляться через дополнительный CLI класс, который состоит из статических полей вида `const static int <имя_регистра> = <адрес_регистра>`. При инициализации класс-провайдер получает Type информацию CoreRegisterMap для механизма рефлексии .NET и итеративно просматривает каждое поле. В случае если тип соответствует System.Int32 и имя поля не в списке игнорируемых происходит извлечение данных о его имени и значении. Для него создается и заполняется структура типа RegisterData, которая сохраняется для использования внутренними механизмами класса-провайдера, а словарь пополняется новой записью.

Список литературы

1. Atmel 0856 AVR Instruction Set Manual // Atmel Corporation, 2014.
2. Atmel 2486 8 Bit AVR Microcontroller ATmega8L Datasheet // Atmel Corporation, 2014.
3. Atmel 8159 8 Bit AVR Microcontroller ATmega8A Datasheet // Atmel Corporation, 2015
4. <http://www.intuit.ru/studies/courses/604/460/lecture/10349?page=3>
5. <https://www.chipdip.ru/catalog-show/in-circuit-programmers?p.0=Atmel>
6. Мэтью Мак-Дональд. WPF: Windows Presentation Foundation в .NET 4.5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов, 4-е издание = Pro WPF 4.5 in C# 2012: Windows Presentation Foundation in .NET 4.5, 4th edition. — М.: «Вильямс», 2013. — 1024с. — ISBN 978-5-8459-1854-3.
7. <http://avr.ru/docs/books/textbook>

05.13.18

Т.Ф. Мамедова канд. физ.-мат. наук, Д.К. Егорова канд. физ.-мат. наук, Н.В. Василькин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, факультет математики и информационных технологий, кафедра прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики, Саранск, mamedovatf@yandex.ru, egorovadk@mail.ru; nv.vasilkin@gmail.ru

МЕТОД ПОКОМПОНЕНТНОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-137-140

В работе представлены результаты исследования устойчивости электрической цепи с помощью математического аппарата покомпонентной асимптотической эквивалентности. Математическая модель электрической цепи содержащей выпрямителя, описана системой нелинейных дифференциальных уравнений. Приведен критерий покомпонентной устойчивости решений для подобных систем и даны рекомендации по его применению.

Ключевые слова: покомпонентная асимптотическая эквивалентность, устойчивость, эквивалентность по Брауэру, электрическая цепь.

Математические модели функционирования различных электрических цепей широко используются во многих областях науки и техники. В связи с этим актуальным является вопрос разработки и применения новых математических методов исследования этих процессов. В представленной статье показывается возможность исследования математической модели электрической цепи методом покомпонентной асимптотической эквивалентности. Основные результаты по данной тематике были получены Е.В. Воскресенским [1] и его учениками [2-5]. В работе продолжаются исследования в этом направлении и решается проблема покомпонентной устойчивости решений математической модели электрической цепей на основе метода сравнения. Научная новизна статьи заключается в том, что показана возможность исследования решений нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих состояние электрической цепи, на устойчивость по напряжению с помощью метода покомпонентной асимптотической эквивалентности.

Алгоритм метода покомпонентной асимптотической эквивалентности состоит в следующем:

Рассматриваются два дифференциальных уравнения – исследуемое нелинейное уравнение и уравнение сравнения:

$$\dot{x} = A(t)x + f(t, x), \quad (1)$$

$$\dot{y} = A(t)y, \quad (2)$$

где $A(\cdot): [T, +\infty) \rightarrow \text{Hom}(R^n, R^n)$, $f \in C^{(0,1)}(R_+^1 \times R^n, R^n)$.

1. Предположим, что решение нелинейного уравнения (1) - $x(t; t_0, x_0)$ существует для всех начальных условий $(t_0, x_0) \in T \times R^n$ и $t \in T$, $T = [0, +\infty)$. Пусть уравнение (1) имеет нулевое решение $x(t) \equiv 0$. Построим множества $N_0 \subseteq M \subseteq M_0 \subseteq \bar{M}_0 \subseteq N$, где $N = \{1, 2, \dots, n\}$, а множества $N_0, M, M_0, \bar{M}_0$ строятся на основе введенных ограничений на решения выбранного уравнения сравнения (2).

2. Построим фундаментальную матрицу решений системы (2)

$$Y(t) = (y_{ij}(t)), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad Y(t_0) = E, \quad t_0 \in [T_0, +\infty), \quad T_0 \geq T.$$

3. Построим обратную матрицу $Y^{-1}(s) = (y^{ij}(s))$, $i, j = \overline{1, n}$.

4. Оценим нелинейную часть исходной системы:

$$|f_j(t, x_j, \dots, x_n)| \leq \lambda_j(t, |x_{j_1}|, \dots, |x_{j_q}|), \quad \forall j \in N, \{j_1, \dots, j_q\} \in M_0,$$

$$\lambda_j(t, r_1, \dots, r_i, \dots, r_q) \leq \lambda_j(t, \bar{r}_1, \dots, \bar{r}_i, \dots, \bar{r}_q), \quad r_i \leq \bar{r}_i, \quad i = \overline{1, q} \text{ при всех } t \in [T, +\infty).$$

5. Эталонные функции сравнения $\mu_i: [T, +\infty) \rightarrow R_+^1$, $m_i: [T, +\infty) \rightarrow R_+^1$, $R_+^1 = [0, +\infty)$, имеют вид $\mu_i \geq \max_{j \in N_0} \{|y_{ij}(t)|\}$, $T_0 \leq t_0 \leq t < +\infty$, $i \in M_0$, если $N_0 \neq 0, j \in N_0$ и $\mu_i(t) \geq 0$, если $N_0 = 0$, $i \in M_0$, $m_i(t) \geq \max_{j \in M_0} \{\max_{j \in M_0} \{|y_{ij}(t)|\}, \mu_i(t)\}$, $T_0 \leq t_0 \leq t < +\infty$, $i \in M_0$. $|\varphi_i(t)| \leq cm_i(t)$, $i = \overline{1, q}$, $\varphi \in C([T, +\infty], R^n)$.

6. Исследуем сходимость несобственного интеграла по t при $c \rightarrow 0, \mu_i(t) \rightarrow 0, \forall t \in [T, +\infty), \forall i \in M_0$ на любом компакте из $[T, +\infty)$ для выражения

$$J_i(t, \varphi) = \int_{t_0}^t \sum_{\substack{j \in M \\ k \in B}} y_{ik}(t) y^{jk}(s) f_j(s, \varphi(s)) ds - \int_t^{+\infty} \sum_{\substack{j \in N \\ k \in B}} y_{ik}(t) y^{jk}(s) f_j(s, \varphi(s)) ds, \quad B = N - M, \quad \text{где } J_i(t, \varphi)$$

существует $\forall i \in N$, $c \in R_+^1$ и $J_i(t, \varphi) = o(\mu_i(t))$ при $t \rightarrow +\infty$ и $\forall i \in M_0$.

7. Построим уравнение сравнения вида:

$$\frac{dz}{dt} = \sum_{k, j \in N} |y^{jk}(t)| \lambda_j(t, zm(t)),$$

и покажем, что его решения определены на любом компакте из $[T, +\infty)$.

Если выполняются все вышеперечисленные пункты, то исследуемое уравнение и уравнение сравнения будут асимптотически эквивалентны по Брауеру [1-2].

Применим выше изложенный алгоритм к решению задачи о покомпонентной устойчивости электрической цепи, содержащей выпрямители.

Рассмотрим электрическую цепь, содержащую два диода и два конденсатора, изображенную на рисунке 1 [5].

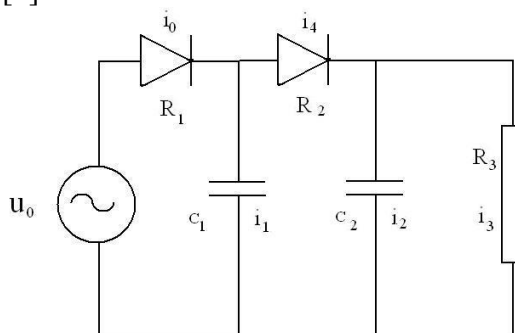


Рис. 1- Схема электрической цепи

Введем следующие обозначения:

сопротивление элементов цепи - R_i ($i = 1, 2, 3$),

конденсаторы постоянной емкости - C_i ($i = 1, 2$),

величины токов на соответствующих участках цепи - i_j ($j = 0, 4$),

величина напряжения на соответствующем диоде - V_j ($j = 1, 2$),

электродвижущая сила источника - $u_0(t)$.

Исследуем покомпонентную устойчивость представленной электрической цепи по напряжению. Рассмотрим случай, когда напряжение источника $u(t, x_1, x_2)$ представляет собой затухающий колебательный процесс, то есть, будем считать, что $|u(t, x_1, x_2)| \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$. В качестве математической модели этой электрической цепи рассмотрим нелинейную систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= -\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) * x_1 + \frac{1}{R_2} x_2 + \frac{1}{R_1} u, \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{R_2} x_1 - \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) x_2.\end{aligned}\quad (3)$$

Система (2) в векторной форме примет вид:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + f(t, x, u), \quad (4)$$

Обозначим через α_i значение $\frac{1}{R_i}$, $i=1,2,3$.

Следующую систему выберем в качестве системы уравнений сравнения:

$$\begin{aligned}\frac{dy_1}{dt} &= -(\alpha_1 + \alpha_2)y_1 + \alpha_2 y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= \alpha y_1 - \left(\alpha_2 + \frac{1}{R_3}\right) y_2.\end{aligned}\quad (5)$$

или в векторной форме она будет иметь вид:

$$\frac{dy}{dt} = Ay. \quad (6)$$

Согласно первому пункту алгоритма, введем множества $N_0 \subseteq M \subseteq M_0 \subseteq \overline{M}_0 \subseteq N$, где $N = \{1, 2, \dots, n\}$, очевидно, что здесь множество N имеет вид: $N = \{1, 2\}$.

По второму и третьему пунктам находим фундаментальную матрицу решений для системы уравнений (5) и обратную к ней:

$$Y(t) = \begin{pmatrix} e^{r_1 t} & e^{r_2 t} \\ \frac{1}{\alpha_2} (r_1 + \alpha_1 + \alpha_2) * e^{r_1 t} & \frac{1}{2} (r_2 + \alpha_1 + \alpha_2) * e^{r_2 t} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$Y^{-1}(s) = \begin{pmatrix} \frac{r_1 + \alpha_1 + \alpha_2}{r_2 - r_1} e^{-r_1 s} & -\frac{\alpha_2}{r_2 - r_1} e^{-r_1 s} \\ -\frac{r_1 + \alpha_1 + \alpha_2}{r_2 - r_1} e^{-r_2 s} & \frac{\alpha_2}{r_2 - r_1} e^{-r_2 s} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$\text{где } r_1 = -\frac{1}{2} \left(\alpha_1 + 2\alpha_2 + \frac{1}{R_3} \right) + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\alpha_1 - \frac{1}{R_3} \right)^2 + 4\alpha_2^2},$$

$$r_2 = -\frac{1}{2} \left(\alpha_1 + 2\alpha_2 + \frac{1}{R_3} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\alpha_1 - \frac{1}{R_3} \right)^2 + 4\alpha_2^2},$$

причем $r_2 < r_1 < 0$.

Чтобы ценить нелинейную часть системы (3), согласно пункту 4, представим эту систему в виде:

$$\frac{dx}{dt} = Ax - (Ax - f(t, x, u)), \quad (9)$$

тогда

$$\| -Ax + f(t, x, u) \| \leq \max \begin{pmatrix} (\alpha_1 + \alpha_2 - \beta_1 - \beta_2)|x_1| + (\alpha_1 - \beta_2)|x_2| - \alpha_1|u| \\ (\alpha_2 - \beta_2)|x_1| + (\alpha_2 - \beta_2)|x_2| + (\alpha_3 - \beta_3)|x_3| \end{pmatrix}$$

Введем обозначения для оценок компонент нелинейной части системы (9):

$$\begin{aligned}\lambda_1(t, |x_1|, |x_2|) &= (\alpha_1 + \alpha_2 - \beta_1 - \beta_2)|x_1| + (\alpha_1 - \beta_2)|x_2| + \alpha_1|u|, \\ \lambda_2(t, |x_1|, |x_2|, |x_3|) &= (\alpha_2 - \beta_2)|x_1| + (\alpha_2 - \beta_2 + \alpha_3 - \beta_3)|x_2| + (\alpha_3 - \beta_3)|x_3|\end{aligned}\quad (10)$$

Из (10) видно, что λ_1 и λ_2 зависят от x_1, x_2 , поэтому в качестве M_0 выбираем $M_0 = N = \{1, 2\}$, $N_0 = \emptyset$, $\overline{M}_0 = N$.

В пятом пункте строим функции сравнения. Пусть функции сравнения выбраны так:

$\mu_i(t) = 1 - e^{r_2 t}$, $i \in M_0$, а функции $m_i(t) = 1$, $i \in M_0$.

Условие из пункта шесть полностью выполняется.

В седьмом пункте уравнение для этой математической модели отсутствует, так как оно составляется относительно множества M , но $M = \emptyset$.

Выполнение пунктов 1-7 для уравнений (3) и (5) гарантирует асимптотическую эквивалентность этих уравнений по Брауеру. Таким образом, можно утверждать, что уравнения (3) и (5) покомпонентно асимптотически эквивалентны относительно функций $\mu_i(t) = 1 - e^{r_2 t}$, $i \in M_0$.

Тогда справедливы следующие формулы для оценки покомпонентной устойчивости решений нелинейной системы уравнений (3):

$$\begin{aligned} x_1(t; t_0, x_0) - e^{r_1(t-t_0)}|x_1(t_0)| - e^{r_2(t-t_0)}|x_2(t_0)| &= \tilde{\gamma}_1(1 - e^{r_2(t-t_0)}) \\ x_2(t; t_0, x_0) - \frac{|r_1 + \alpha_1 + \alpha_2|}{\alpha_2} e^{r_1(t-t_0)}|x_1(t_0)| - \frac{|r_2 + \alpha_1 + \alpha_2|}{\alpha_2} e^{r_2(t-t_0)}|x_2(t_0)| & \\ &= \tilde{\gamma}_2(1 - e^{r_2(t-t_0)}), t \geq 0, \forall t \geq t_0, \end{aligned}$$

где параметры $\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2$ зависят от внутреннего строения электрической цепи и от напряжений источника, т.е. $\tilde{\gamma}_1(\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, R_3, R), \tilde{\gamma}_2(\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, R_3, R)$.

Исследование покомпонентной устойчивости электрической цепи по току, было проведено ранее в статье [3]. Все вышесказанное позволяет осуществлять регулирование устойчивости по току и напряжению в электрической цепи.

Список литературы

1. Воскресенский Е.В. Асимптотические методы: Теория и приложения. - Саранск: Средневолжское математическое общество, 2001. - 300 с.
2. Ляпина А.А., Мамедова Т.Ф. Алгоритм исследования моделей нелинейной динамики // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико - математические науки. - Пенза. - 2013. - №3 (27). - С. 48 -57.
3. Мамедова Т.Ф., Черноиванова Е.А. Асимптотические свойства математических моделей электрических цепей // Научно-технический вестник Поволжья. - 2015. - №1. - С. 114-117.
4. Черноиванова Е.А. Асимптотическая эквивалентность дифференциальных и дифференциально-функциональных уравнений // Журнал Средневолжского математического общества. - 2014. - Т. 16, № 1. - С. 156-159.
5. Зевеке Г.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоиздат, 1989. - 528 с.

05.13.18

Е.Н. Минаев д-р техн. наук, Д.В. Цыпин, Д.С. Хорищенко

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
физико-технический факультет, кафедра физики,
Саратов, emin@sstu.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ СЛОИСТОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ
В КАНАЛАХ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-141-144

Моделирование проведено на основе решения дифференциального уравнения конвективной теплопроводности в условиях плоскопараллельного течения жидкости с параболическим профилем скорости. При решении уравнения предложена замена переменных. Получены выражения для расчёта профиля температуры и плотности теплового потока. Представлены результаты численного моделирования конвективной теплопроводности.

Ключевые слова: математическое моделирование; конвекция, теплопроводность, дифференциальное уравнение.

При эксплуатации энергетического оборудования, использующего в качестве теплоносителя жидкие среды, большое значение имеет расчёт распределения температуры внутри различного рода каналов и трубопроводов. При этом, существенное значение имеет тип гидродинамического течения и профиль скорости жидкости внутри каналов. Так в работе [1] рассмотрен расчёт внутри вязкого подслоя с линейным профилем скорости, в работе [2] – расчёт ламинарного подслоя со степенным профилем.

В случае ламинарного течения вдоль всего сечения канала и параболического профиля скорости, задача была решена Гретцем [3]. Решение получено методом разделения переменных и представлено в виде разложения в ряд Фурье – Бесселя. К недостаткам решения следует отнести необходимость удерживать достаточно большое число членов ряда при расчёте и использовать специальную функцию Бесселя при вычислении каждого члена ряда. В данной работе представлено решение, не имеющее указанных недостатков.

Рассмотрим канал, образованный двумя плоскопараллельными пластинами. Расположим начало координат на плоскости симметрии канала таким образом, что ось y направлена от неё к стенке. Введём безразмерные переменные $y = \bar{y}/L_y$, $x = \bar{x}/L_x$, где L_y – половина ширины канала, а L_x – характерный продольный размер. Пусть течения жидкости является плоскопараллельным и ламинарным (слоистым). Тогда профиль проекции скорости V_x поперёк канала имеет параболический вид [4]

$$V_x = V_{\max} (1 - y^2). \quad (1)$$

В области $0 < y < 1$, $0 < x < \infty$, запишем уравнение конвективной теплопроводности для температуры $T = T(x, y)$

$$K (1 - y^2) \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (2)$$

где $K = (L_y^2 V_{\max}) / (L_x a)$ – безразмерный параметр, характеризующий соотношение конвективного переноса энергии вдоль x и молекулярного переноса вдоль y , a – коэффициент температуропроводности жидкости.

Поставим задачу об охлаждении жидкости при условии, что температура на стенке канала равна нулю

$$T(x, 1) = 0, \quad (3)$$

Для решения уравнения (2) авторы предлагают замену переменных

$$\eta = \left(\frac{x}{K} + \frac{y^2}{2} \right).$$

Тогда уравнение (2) преобразуется в простейшее дифференциальное уравнение второго порядка $-\frac{dT}{d\eta} = \frac{d^2T}{d\eta^2}$, его решением является функция $T = A \exp(-\eta) + B$, где A и B – константы интегрирования. Константу B находим из условия на бесконечности $\eta \rightarrow \infty$, $T(\infty) = 0$. Тогда $B = 0$

$$T = A \exp\left(-\frac{x}{K}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right). \quad (5)$$

Однако данное решение нельзя считать удовлетворительным. Действительно, при нахождении константы интегрирования A , подставив решение (5) в граничное условие (3), получим $A = 0$, и решении всюду в области определения данной задачи принимает нулевое значение.

Для получения нетривиального решения будем искать его в виде

$$T = A(y) \exp\left(-\frac{x}{K}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right), \quad (6)$$

Где $A(y)$ есть функция, зависящая от y . Для нахождения этой функции вычислим производные по x и по y от выражения (6), подставим их в исходное уравнение (2) и после простых преобразований получим обыкновенное дифференциальное уравнение для $A(y)$

$$\frac{d^2A}{dy^2} - 2y \frac{dA}{dy} = 0,$$

решением которого является функция

$$A(y) = A_1 \int_0^y \exp(\mu^2) d\mu + B_1, \quad (7)$$

где A_1 и B_1 есть константы интегрирования. Тогда решение исходного уравнения можно записать в виде

$$T = \left(A_1 \int_0^y \exp(\mu^2) d\mu + B_1 \right) \exp\left(-\frac{x}{K}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right). \quad (8)$$

Константу B_1 найдём из граничного условия (3). Подставив найденное значение B_1 в решение (8), получим

$$T = A_1 \left(\int_0^y \exp(\mu^2) d\mu - \int_0^1 \exp(\mu^2) d\mu \right) \exp\left(-\frac{x}{K}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right). \quad (9)$$

Для нахождения константы A_1 требуется ещё одно граничное условие. При задании этого условия возникают определённые затруднения, связанные со следующими обстоятельствами. Если бы профиль скорости был постоянным поперёк сечения вдоль всего канала, то можно было задать в качестве граничного условия постоянный профиль температуры на входе в канал. В рассматриваемом случае на входе в канал профиль скорости постоянный, но по мере продвижения по каналу он постепенно изменяется до тех пор, пока при некотором значении x_0 не становится параболическим поперёк всего сечения. Именно начиная с этого значения x_0 уравнение (2) становится справедливым. Но по мере

продвижения жидкости от входа до точки x_0 температурный профиль тоже изменяется и априори он неизвестен. Поэтому, нужно использовать какое то другое условие однозначности, например, значение температуры на плоскости симметрии ($y = 0$) в точке $x > x_0$, которую мы примем за ноль $T(0,0)=T_0$. Подставив решение (9) в это условие и определив A_1 , запишем решение в окончательном виде

$$T = T_0 \left(1 - \int_0^y \exp(\mu^2) d\mu \right) / \int_0^1 \exp(\mu^2) d\mu \exp\left(-\frac{x}{K}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right). \quad (10)$$

Покажем, что выбор произвольной точки x в качестве точки отсчёта (в качестве нуля) не повлияет на однозначность решения, если одновременно задано истинное (экспериментальное) значение температуры T в этой точке. Пусть в качестве нуля выбрана точка x_1 , как это показано на рисунке 1, и температура в этой точке равна T_1 . Тогда в соответствии с формулой (10), температура в какой-либо другой точке x^* равна

$$T(x^*, 0) = T_1 \exp(-x^*/K). \quad (11)$$

Далее, пусть в качестве нуля выбрана точка x_2 , и ей соответствует температура T_2 . Учтём, что в соответствии с решением (10), T_2 и T_1 связаны соотношением $T_1 = T_2 \exp(\Delta x^*/K)$. Вычислим $T(x^*, 0)$, приняв за ноль x_2 ,

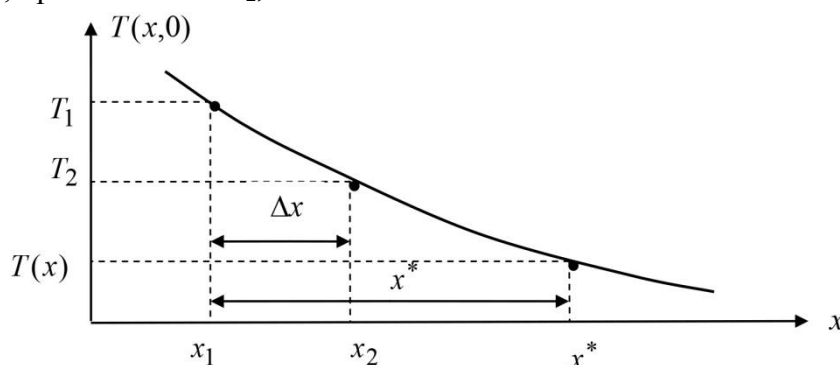


Рис. 1– Выбор точки отсчёта по координате x

Таблица– Распределение относительной температуры T/T_0 внутри канала

Координаты	Координата x							
Координата y	0	0.3	0.5	1	1.5	2	3	4
0	1	0.951	0.920	0.847	0.779	0.717	0.606	0.513
0.1	0.928	0.882	0.853	0.784	0,721	0,664	0,562	0,475
0.2	0.844	0.803	0.777	0.715	0,657	0,605	0,512	0,433
0.3	0.754	0.717	0.694	0.638	0,587	0,540	0,457	0,387
0.4	0.655	0.625	0.604	0.556	0,511	0,474	0,398	0,337
0.5	0.554.	0.527	0.509	0.469	0,431	0,396	0,335	0,284
0.6	0.447	0.425	0.411	0.378	0,347	0,320	0,270	0,229
0.7	0.338	0.302	0.310	0.285	0,262	0,241	0,204	0,172
0.8	0.225	0.214	0.207	0.191	0,175	0,161	0,136	0,115

$$T(x^*, 0) = T_2 \exp\left(-\frac{(x^* - \Delta x)}{K}\right) = T_2 \exp(\Delta x/K) \exp(-x^*/K) = T_1 \exp(-x^*/K),$$

откуда следует, что $T(x^*, 0)$ принимает одно и то же значение независимо от выбора точки x , принимаемой за ноль.

Вычислив производную от выражения (10) по поперечной координате при $y=1$, найдём распределение плотности теплового потока $j(x,1)$ вдоль стенки канала

$$j(x,1) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=1} = \lambda T_0 \left(\int_0^1 \exp(\mu^2) d\mu \right)^{-1} e^{-x/K} e^{1/2}.$$

Результаты численного моделирования при $K = 6$ представлены в таблице.

Список литературы

1. Минаев Е.Н., Мачеев М. А. Расчёт массопереноса кислорода в пограничном слое при вынужденной конвекции воды в каналах энергетических установок при их катодной защите / Вестник Дальневосточного федерального университета. № 3(28). 2016. с. 44-51
2. Минаев Е.Н. Расчёт массопереноса кислорода в приграничном слое поверхности омываемой раствором, при её электрохимической защите / Научно-технический вестник Поволжья, № 4, 2016, с.23-26
3. Ньюмен Дж. Электрохимические системы / Дж. Ньюмен. Под ред. Ю.А. Чизмаджева. – М.: Мир, 1977. – 463 с.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг, перев. с немецкого. – М.: Наука: Гл. ред. физ-мат. лит., 1974. – 713 с.

05.13.00

М.В. Овечкин канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт, кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, maxov-1@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТОЧЕЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-145-147

В работе представлены результаты системного анализа дефектоскопии точечных сварных соединений. Отмечено, что при применении электромагнитных методов контроля, основой автоматизации является распознавание получаемых изображений (рентгенограмм) с целью выработки решений о наличии или отсутствии дефектов. Описана модель рентгенограммы сварного соединения представляющая собой двухуровневую классификацию сварной точки. Проиллюстрирован способ автоматизированной классификации по нарушению диаметра литого ядра. Приведена структурная схема автоматизированного рентгенографического контроля. Сделаны выводы о необходимости построения автоматизированной системы, включающей в себя программное обеспечение по распознаванию параметров соединений.

Ключевые слова: автоматизация контроля, дефектоскопия, распознавание образов, электромагнитное излучение, радиография.

Технологический контроль точечных сварных соединений на основе электромагнитного излучения базируется, как правило на применении различной радиационной техники: рентгеновских аппаратов, гамма-аппаратов, линейных ускорителей, бетатронов.

Радиационная дефектоскопия основана на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение. На практике этот метод широко распространен в связи с его простотой и документальным подтверждением полученных результатов [1]. В местах, где имеются поры, шлаковые включения, непровары, крупные трещины, на пленке образуются темные пятна. Вид и размеры дефектов определяют сравнением пленки с эталонными снимками.

Структура отображения соединения на рентгенограмме представлена на рисунке 1 и состоит из литого ядра и области сварки, образуемой областью контакта свариваемых поверхностей.

К наружным дефектам относятся следующие: наружные трещины (рисунок 2); прожог; наружный выплеск; вырыв точек; выход на поверхность литой структуры; разрыв металла у кромки соединения; чрезмерная вмятина и неправильная форма вмятины от электродов [1].

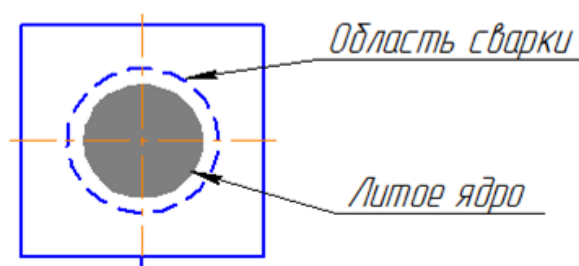


Рис. 1 – Структура отображения точечного сварного соединения на рентгенограмме

Образованию этих дефектов способствуют следующие причины: большая величина или длительность импульса сварочного тока; малая сила сжатия электродов или ее отсутствие; плохая подготовка поверхностей свариваемых деталей; малое или большое ковочное усилие; позднее его приложение; недостаточное охлаждение электродов; неисправное сварочное оборудование; неправильная форма контактных поверхностей электродов; загрязнение поверхностей деталей или электродов; большие натяги деталей при сварке и в процессе правки; неверно установленные электроды; близость сварной точки к краю соединения; малая величина нахлестки; большая величина и длительность импульса сварочного тока; небольшой размер рабочей поверхности электродов; перекося деталей или электродов; неправильная заточка или неравномерный износ рабочей поверхности электродов; перекося свариваемых электродов конструкции.

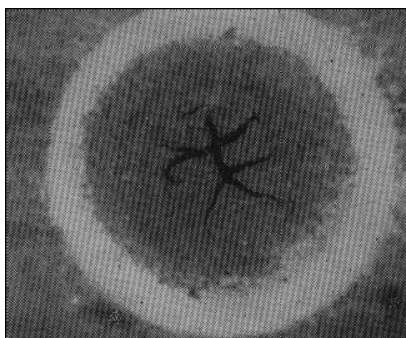


Рис. 2 - Наружные трещины сварной точки (под увеличением)

Основные внутренние дефекты точечной сварки: непровар (рисунок 3); отсутствие взаимной литой зоны соединяемых элементов сварной конструкции; внутренние трещины, поры и раковины; несимметричное расположение ядра сварной точки; чрезмерное проплавление – свыше 80 % толщины свариваемого листа.

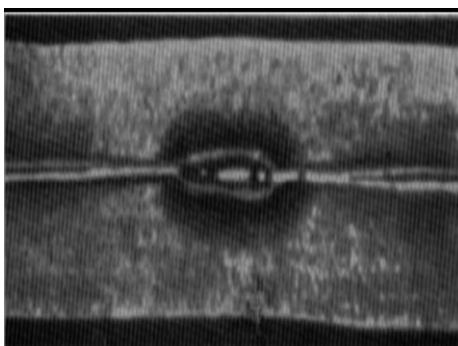


Рис. 3 – Макроструктура непроваренной сварной точки

При осмотре выявляют, как правило, поверхностные поры, трещины всех видов и направлений, наплывы, прожоги, свищи, подрезы, незаваренные кратеры, непровары и другие дефекты-несплошности. Качество считается неудовлетворительным, если будут выявлены недопустимые дефекты. При выявлении и исправлении недопустимых дефектов сварные соединения повторно подвергают контролю [2].

При применении электромагнитных методов контроля, основой автоматизации является распознавание получаемых изображений (рентгенограмм) с целью выработки решений о наличии или отсутствии дефектов [3]. Модель рентгенограммы сварного соединения представляет собой двухуровневую классификацию сварной точки, на первом уровне которой определяется принадлежность объекта к классам нарушения диаметра литого ядра, а на втором – к классам нарушения расположения ядра [4]. При этом выявлено, что для уровня распознавания нарушения диаметра литого ядра отнесение к классам может осуществляться путем построения вертикальных и горизонтальных гистограмм для сегмента изображения (рисунок 4).

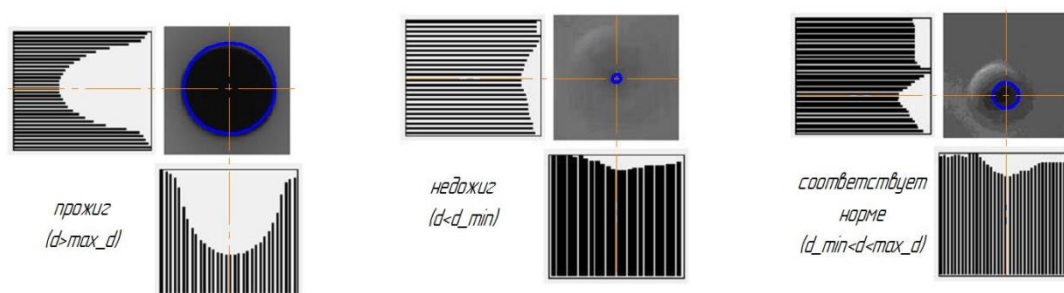


Рис. 4 – Схема отнесения к классам по диаметру литого ядра соединения

Таким образом, для решения задачи автоматизации технологического контроля точечных сварных соединений на основе электромагнитного излучения необходимо построение автоматизированной системы, обобщенная структура которой представлена на рисунке 5.

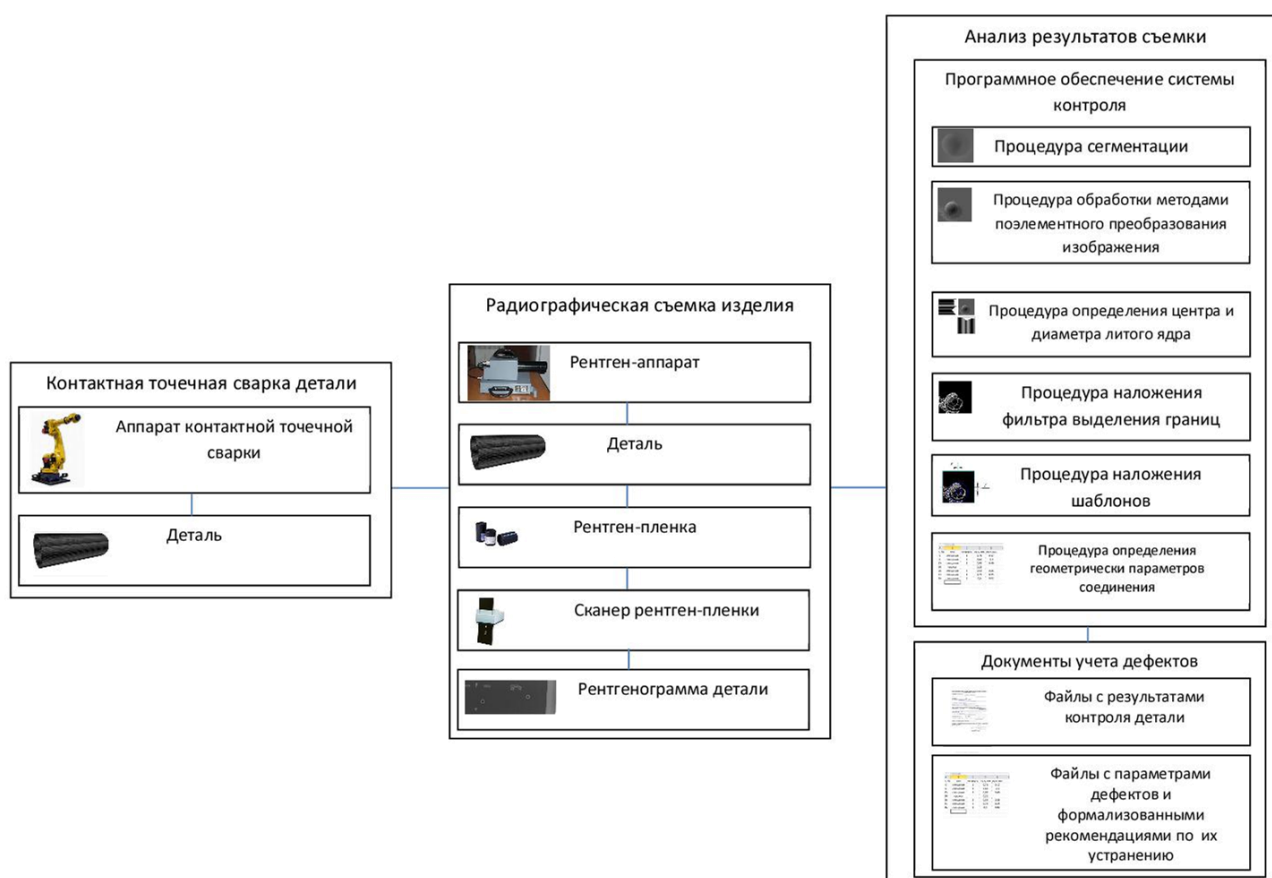


Рис. 5 - Структурная схема автоматизированного рентгенографического контроля

На основании представленного, можно сделать вывод, что основой подобных систем рентгенографического контроля должно являться программное обеспечение, направленное на классификацию и автоматизированное распознавание результатов съемки.

Список литературы

- 1 Коллакот, Р. Диагностика повреждений / Р. Коллакот / М.: Мир, 1989. – 516 с.
- 2 Алешин, Н.П. Радиационная и магнитная дефектоскопия металлоизделий / Н.П. Алешин, В.Г. Щербинский // М.: Высшая школа. – 1991. – 271 с.
- 3 Симанков В.С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В.С. Симанков, Е.В. Луценко // Монография (научное издание) / Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та. – Краснодар, 1999. – 318 с.
- 4 Овечкин, М.В. Автоматизация управления обслуживающими аппаратами на основе распознавания графических данных / М.В. Овечкин, Н.З. Султанов, Е.В. Костина // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2015. – № 2. – С. 65–69.

05.13.00

П.Г. Погорелов

ООО «ПАРМАЛОГИКА»,
Пермь, peter.pogorelov@gmail.com**МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ ДОКУМЕНТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-148-151**

В статье предлагается метод выделения и распознавания содержательной части документа на основе нейросетевой композиции. Предложенный подход использует новейшие исследования в области семантического анализа текста.

Ключевые слова: OCR, оптическое распознавание символов, сверточные нейросети, рекуррентные нейросети

Многим компаниям и госучреждениям при взаимодействии с клиентской базой приходится обрабатывать большие объемы обращений (просьб, жалоб), не имеющих четко формализованной структуры. Например, это могут быть письма, отправленные по электронной почте, либо отсканированные документы. С помощью алгоритма извлечь нужную информацию из такого документа – достаточно сложная задача. В качестве иллюстрации проблемы можно рассмотреть набор отсканированных документов, где серым цветом выделена область, которая содержит текст обращения [рис. 1]. Картинка специально представлена в нечитаемом виде из соображений приватности.

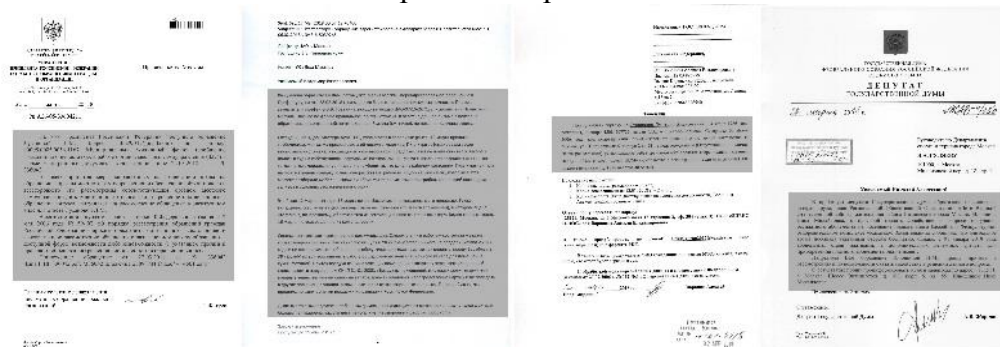


Рис. 1. Текст обращения в документах

В рамках данной работы будет решаться задача построения алгоритма, выделяющего в отсканированном документе сегменты (или части), которые с наибольшей вероятностью будут относиться непосредственно к тексту обращения, а не дополнительной информации (реквизиты, подписи и т.п.). Для решения поставленной проблемы, авторы статьи предлагают архитектуру нейронной сети, которая одновременно производит анализ как семантики (смысла) документа, так и его визуальной структуры.

В области компьютерного зрения существует направление “оптическое распознавание символов”, в рамках которого решается набор аналогичных задач. Есть целая алгоритмическая база, из которой особо можно выделить систему “TesseractOCR” [1], предназначенную для извлечения текста с оцифрованной страницы документа. Также отдельного внимания заслуживает алгоритм Stroke Width Transform [2], используемый для выделения текста на фотографиях книг, памятников, плакатов, банеров и др. Тем не менее, все выше перечисленные подходы не выполняют интеллектуального анализа текста с целью его разбиения на отдельные сегменты, такие как, например, ФИО, содержание обращения, адреса и др.

Архитектура нейросетевой модели

Предлагаемая автором модель представляет собой систему, состоящую из двух независимых частей. Первая – для визуального анализа сегмента документа, а вторая – для его семантического анализа.

Рассмотрим более подробно первую часть системы (для визуального анализа документа). В качестве входных данных модели задается специально обработанный сжатый сегмент (формат будет рассмотрен далее), а на выходе получаем вероятность того, относится ли данный сегмент к тексту обращения. Нужно отметить, что порядок расположения сегментов в документе очень важен, поскольку, например, короткий абзац, если априори не знать, в какой части документа он располагается, скорее всего будет воспринят как реквизит. Для учета информации о порядке следования сегментов предлагается использовать двунаправленную рекуррентную нейронную сеть – Gated Recurrent Unit или GRU [3].

При обучении модели в качестве эндогенной переменной используются идентификаторы 1 и 0, обозначающие принадлежность данного сегмента к тексту обращения. В качестве экзогенной переменной – предварительно обработанные изображения сегментов.

Вторая часть системы должна отвечать за семантический анализ. В данной работе предлагается использовать сверточную нейронную сеть, архитектура которой описана в работе Уоп К. [4]. Причина ее выбора – относительно небольшое количество коэффициентов, высокая скорость при обучении и легкая возможность интеграции в другие нейросетевые архитектуры.

При оценке параметров семантической модели, как и в случае с моделью визуального анализа, в качестве эндогенной переменной взяты идентификаторы 0 и 1, а в качестве экзогенной переменной – текст сегмента, извлеченный с использованием OCR системы “TesseractOCR” [1], преобразованный в word2vec [5] представление. Для учета порядка следования сегментов, как и в случае визуального анализа, используется двунаправленная GRU-нейросеть, принимающая на вход выходные данные одного из промежуточных слоев сверточной сети.

Затем для комбинирования результатов предсказания двух ранее описанных моделей, используется нейронная сеть прямого распространения, далее именуемая “взвешивающая нейросеть”. В качестве модельной переменной взяты идентификаторы 0 и 1, а на вход ей подается вывод скрытых слоев двух предыдущих моделей. Обучение взвешивающей нейросети производится итеративно: сначала обучаются модели визуального и семантического анализа, затем – сама взвешивающая нейросеть. Таким образом, на выходе системы получаем вероятность того, что данный сегмент документа относится к тексту обращения [рис. 2].

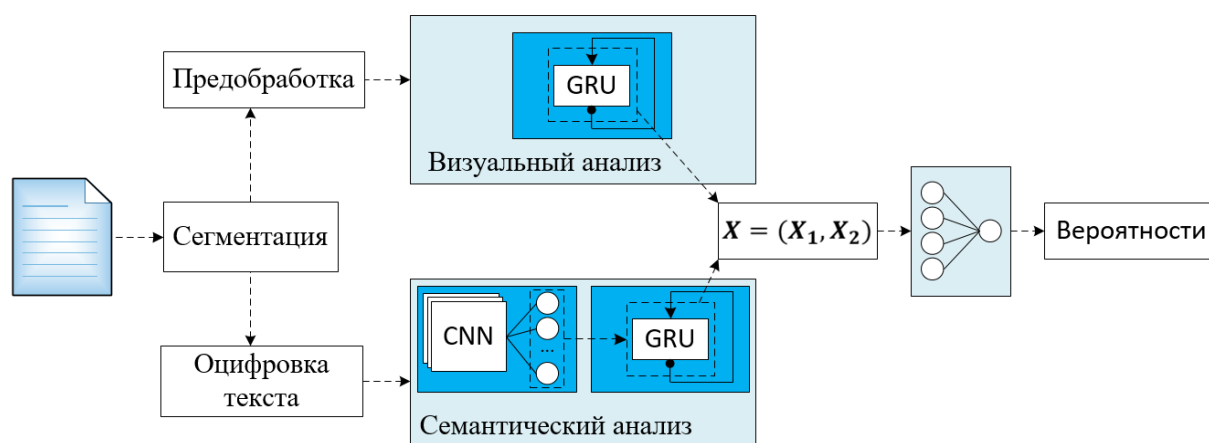


Рис. 2. Общая архитектура модели

Формат входных данных для нейросетевой модели

На начальном этапе подготовки входных данных для системы необходимо произвести разбиение отсканированного документа на последовательные сегменты, каждый из которых содержит некоторую часть изображения. Важно, чтобы смысловые единицы (содержание, реквизиты) не попадали в один сегмент, поскольку это может сказаться на общей точности предсказания после обучения. Разбиение должно быть относительно жестким, чтобы смысловые единицы не попадали в один сегмент, но при этом достаточно мягким, чтобы один абзац не попадал в разные сегменты. Кроме того, все изображения необходимо привести к черно-белой цветовой палитре и нормализовать значения пикселей (от 0 – ярко черный, до 1 – ярко белый). Пример разбиения, используемого авторами, приведен на рисунке 3. Есть много способов для реализации подобного разбиения, но их описание выходит за рамки работы.

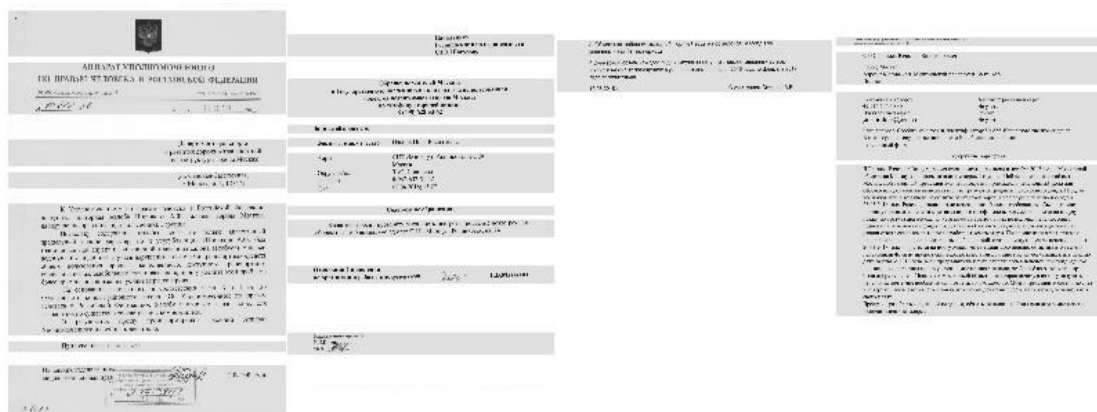


Рис. 3. Авторская сегментация документа

При подготовке данных для модели визуального анализа получившаяся матрица (изображение сегмента) сжимается с помощью операции свертки, где ширина окна и шаг берутся равными 5. Затем, если значение элемента сформированной матрицы больше некоторой границы (в авторском исследовании – 0,8), то оно устанавливается равным 1, в противном случае – 0. Ниже представлена формула для расчета значений новой матрицы $PIXEL_{new}(:, \cdot)$ по старым $PIXEL_{old}(:, \cdot)$,

$$PIXEL_{new}(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{1}{5^2} \sum_{a-2 \leq i \leq a+2} \sum_{b-2 \leq j \leq b+2} PIXEL_{old}(i, j) > 0.8, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Далее формируются два вектора путем суммирования по строкам (“горизонтальный вектор”) и столбцам (“вертикальный вектор”) элементов получившейся ранее матрицы. В случае, если в “горизонтальном векторе” компоненты (величина “яркости”) обладают строгой периодичностью, то причиной этого может быть наличие в изображении строк текста. Назначение “вертикального вектора” – отделять с его помощью сегменты с реквизитами, где перепад от ярко черного до ярко белого и обратно может сигнализировать о том, что в тексте имеются две колонки – название реквизита и его значение. Это может говорить о том, что сегмент, вероятнее всего, не относится к тексту обращения. При формировании входных данных для модели семантического анализа выполняется трансформация текста в векторное представление с использованием модели word2vec. Данное преобразование подробно рассмотрено в работе Yoon K. [4]. В качестве входных данных для “взвешивающей нейронной сети” используется результат конкатенации (склеивания) вывода промежуточных слоев моделей визуального и семантического анализа.

Экспериментальные результаты

На этапе обучения и тестирования предложенной автором модели полный объем выборки составлял 267 документов (около 2000 сегментов). Выборка была поделена на 80% обучающего и 20% тестового объема. Удалось достичь достаточно высокой (95%) точности определения принадлежности сегмента к содержанию обращения. На рисунке 4 показано, какие сегменты одного из тестовых документов были распознаны обращения. В данном случае, чем более яркий цвет имеет сегмент, тем выше вероятность того, что он относится к содержательной части документа.

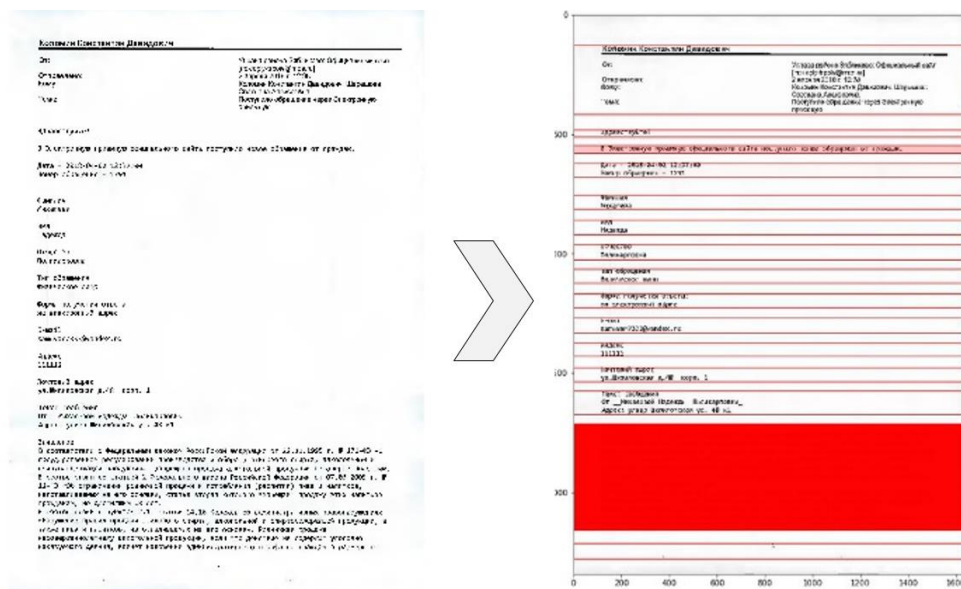


Рис. 4. Результат работы нейросетевой модели

Список литературы

1. R. Smith, «An Overview of the Tesseract OCR Engine», ICDAR, pp. 629–633, Brazil, 2007.
2. Epshtein, et al. «Detecting text in natural scenes with stroke width transform», CVPR, pp. 2963 – 2970, USA, 2010.
3. Cho, K. et al. (2014a). “Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation”. EMNLP, Qatar, October 2014.
4. Kim Y., “Convolutional Neural Networks for Sentence Classification”, EMNLP, Qatar, October 2014.
5. T. Mikolov et al. “Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality”, NIPS, pp. 3111–3119, USA, 2013.

05.13.00

А.В. Пухкой, Е.Ю. Кирейчева, Т.Ф. Мамедова канд. физ.мат. наук

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва, факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики,
Саранск, alexey.pukhkoy@gmail.com, mamedovatf@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-152-154**

Предлагается новый подход решения проблем в области минимизации издержек, основанный на исследовании логистического отображения как в вещественной области, так и на множестве комплексных чисел. Исследуется зависимость логистического отображения от разных значений управляющего параметра.

Ключевые слова: логистический центр, отображение, математическая модель, неподвижная точка, управляющий параметр.

Математическая модель процесса движения товаров через логистические центры базируется на дискретном логистическом отображении $x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$, где x_n – нормированное количество товаров, $(1 - x_n)$ – убыль товаров в результате продаж, а управляющий параметр r характеризует спрос. Логистические центры базируются на определенном расстоянии около крупных городов, поэтому логистическое отображение рассматривается в множестве комплексных чисел, которое, возможно, позволит учесть пространственное распределение логистических центров [1-2].

Основной интерес представляют неподвижные точки отображения, которые отвечают устойчивому или стационарному состоянию системы. Неподвижные точки являются корнями алгебраического уравнения $F(x^*) = f(x^*, r) - x^* = 0$. Точка x^* является устойчивой точкой и для последовательности отображений $f^{(m)}(x_n, r), m = 1, 2, 3, \dots$. При $r \in (0, 1)$ логистическое отображение имеет единственную устойчивую точку $x_0^* = 0$. В этой точке значение производной (мультипликатора) равно $f'(0, r) = r < 1$. При переходе управляющего параметра r через первое критическое значение $r_1 = 1$ видно, что неподвижная устойчивая точка $x_0^* = 0$ теряет свою устойчивость, но рядом с ней возникает новая неподвижная устойчивая точка $x_1^* = 1 - \frac{1}{r}$. Отметим, что логистическое отображение, для $0 < r < 4$, есть отображение единичного отрезка вещественной оси в себя. Функции $f^{(m)}(x, r)$ также осуществляют отображение единичного отрезка в себя и по построению итерационного процесса являются полиномами степени $n = 2^m$, а предельная функция есть степенной ряд:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} f^{(m)}(x, r) = S(r, x) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n(r) x^n.$$

Сумма степенного ряда на отрезке на краях отрезка удовлетворяет условию

$$S(r, 0) = S(r, 1) = 0.$$

Из условия $S(r, 1) = 0$ следует, что

$$\sum_{n=1}^{\infty} C_n(r) = 0.$$

На рисунке 1 показаны моменты удвоений периода, в которые происходит расщепления устойчивого состояния на две ветви. Из рисунка 1 видно, что в области изменения параметра r , где аттрактор конечного порядка, значения показателя Ляпунова отрицательны, то есть циклы устойчивы. Где показатель Ляпунова имеет положительное значение, но меньше единицы, нет устойчивых циклов, а решение не выходит за единичный интервал. На рисунке

2 показаны итерационные диаграммы для значений управляющего параметра $r = 3.75$ и $r = 3.7$, которым отвечают положительные значения показателя Ляпунова. Из рисунков видно, что решение ведет себя странно и запутано. Однако оно остается в ограниченной области. Притягивающее множество неустойчивых траекторий принято называть стохастическим, или странным аттрактором [3-4].

Из анализа численных результатов следует, что предельная функция является фракталом. При переходе через точки бифуркации происходит расщепление предельной функции в результате чего образуются две предельные функции, которые циклически, в зависимости от порядка аттрактора переходят друг в друга. В области изменения управляющего параметра, отвечающего странному аттрактору (область хаоса), предельная функция постоянно осциллирует и не имеет предельных значений.

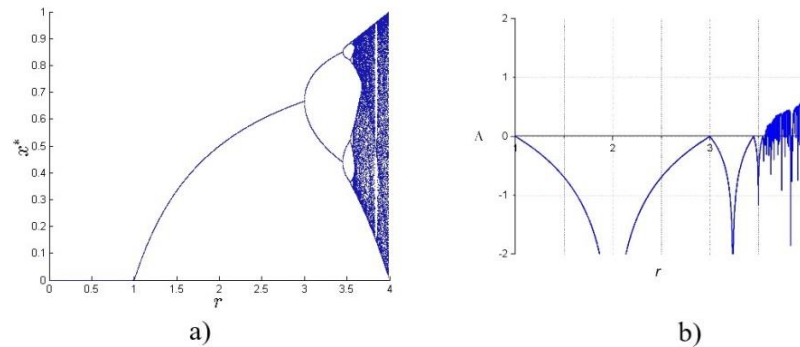


Рис. 1. а) Бифуркационная диаграмма логистического отображения
б) Зависимость показателя Ляпунова от управляющего параметра в логистическом отображении

Кроме хаотических траекторий, логистическое отображение в области параметра $r > r_\infty$ имеет множество устойчивых периодических траекторий четного и нечетного периода. При $r > 3.82842$ реализуется устойчивый цикл с периодом 3. Образование устойчивых циклов с периодом 3 идет также по схеме с удвоением периода.

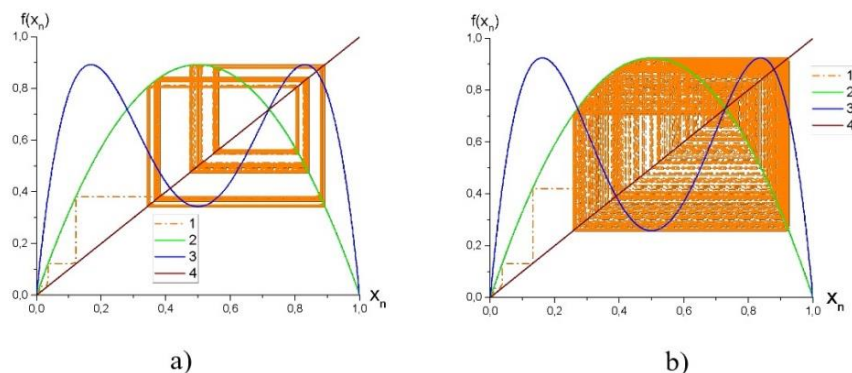


Рис. 2. а) Итерационная диаграмма логистического отображения $x_{n+1} = f(x)$ для значения параметра $r = 3.57$: 1 – лестница Ламерея; 2 – $y = f(x)$; 3 – $y = f^2(x)$; 4 – $y = x$.
б) Итерационная диаграмма логистического отображения $x_{n+1} = f(x)$ для значения параметра $r = 3.7$: 1 – лестница Ламерея; 2 – $y = f(x)$; 3 – $y = f^2(x)$; 4 – $y = x$

В вещественной области функция $y = rx(1 - x)$ для значений параметра $0 \leq r \leq 4$ отображает единичный отрезок вещественной оси в себя. В комплексной области естественно рассмотреть функцию $\omega = Az(1 - z)$ и область, в которую отображается внутренность круга единичного $z \in K^1(0) = \{z: |z| < 1\}$, для значений параметра $0 < |A| < 4$. Границей этой области является кривая $\omega = f(e^{i\varphi}) = Re^{iQ}e^{i\varphi}(1 - e^{i\varphi})$. Радиус вектор границы образа единичной окружности $\omega = 2R|\sin \frac{\varphi}{2}|$ для параметра $|A| = R > \frac{1}{2}$ может быть больше единицы. В этом случае итерационный процесс логистического отображения будет расходиться. Предельная функция, определенная логистическим отображением на

единичном отрезке вещественной оси в виде степенного ряда, не является аналитической, так как имеет точки разрыва и не представляется бесконечно дифференцируемым степенным рядом. Сходимость последовательности отображений на вещественной оси к предельной функции, если существуют устойчивые циклы, является поточечной, а в точках хаоса предельная функция не существует, она постоянно осциллирует. Отсюда следует, что не существует аналитического продолжения итерационного процесса с вещественной оси в комплексную плоскость и логистическое отображение в комплексной области не наследует свойств отображения в вещественной области. В связи с этим был численно исследован итерационный процесс логистического отображения в комплексной области для различных значений управляющего параметра. В этих исследованиях определялись неподвижные точки в зависимости от модуля управляющего параметра при фиксированном значении аргумента. Итерации начинались с вещественной оси, для начального значения $z_0 = 0.01$.

На рисунке 3 показаны зависимости неподвижных точек и показателя Ляпунова от модуля управляющего параметра для аргумента $Q = 2^\circ$.

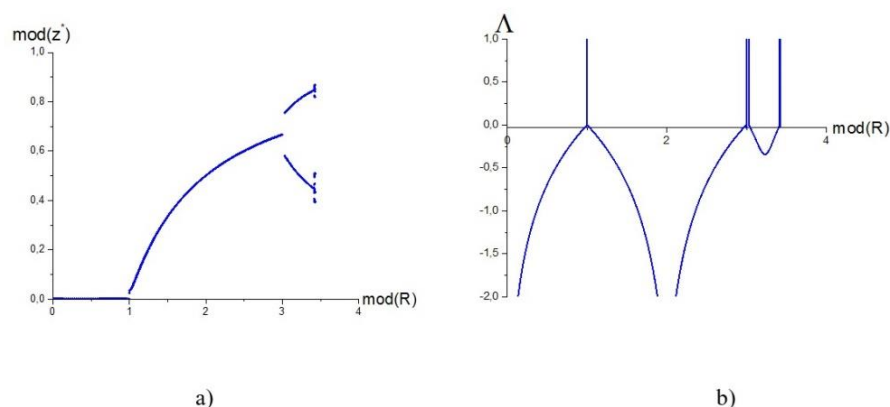


Рис. 3. а) Бифуркационная диаграмма модуля логистического отображения для значения аргумента управляющего параметра $Q = 1^\circ$ и $Q = 359^\circ$. б) Зависимость показателя Ляпунова от управляющего параметра в логистическом отображении для значения аргумента управляющего параметра $Q = 1^\circ$.

Из полученных результатов следует, что для малых значений аргумента, $|A| < 1$ существует только одна устойчивая неподвижная точка $z^* = 0$. Переход через критическое значение $|A| = 1$ происходит с образованием устойчивых циклов в основном четных порядков 20, 40, ... в зависимости от аргумента. При следующем критическом значении также происходит разрыв в решении. При дальнейшем увеличении аргумента сокращается сначала область, где существуют две устойчивые точки ($|A| > 3$), а, затем и область ($1 < |A| < 3$), где существует одна устойчивая точка.

Список литературы

1. Прошин Ю.Н., Шакиров М.А. Моделирование и визуализация нелинейных динамических систем. Часть 1. Точечные отображения Казань: Казан. ун-т, 2015. – 35 с.
2. Шарковский А.Н. О циклах и структуре непрерывного отображения // Украинский математический журнал. – 1965. – Т.17, №3. – С.104-111.
3. Фейгенбаум М. Универсальность в поведении нелинейных систем // Успехи физических наук. – 1983. – Т.141, №2. – С.343-374.
4. Лихтенберг А., Либман М. Регулярная и стохастическая динамика. – М.: Мир, 1984. – 528с.
5. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000. – 352с.

05.13.00

Э.Д. Суряков, Д.Е. Злобин, А.В. Ромодин канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, romodin@msa.pstu.ru

МОДУЛЬ РАСЧЕТА УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ТРЕНАЖЕРА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-155-158

Представлена концепция подсистемы управления аварийными режимами систем электроснабжения (СЭС) нефтяных месторождений. Разработка алгоритмов управления ведется на основе матрично-топологического аппарата. Подсистема предназначена для решения инженерных задач, принятия решений, подготовки персонала.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, нефтяное месторождение, система электроснабжения, алгоритм.

При проектировании новых объектов, анализе существующих СЭС нефтепромыслов, а также при обучении и подготовке персонала возникают задачи построения систем противоаварийного управления [1, 3, 4, 5]. Помимо решения поставленных задач существует возможность повышения качества управления СЭС, а именно автоматизации большинства операций и выдачи решений персоналу [2]. Данный подход может быть реализован в модуле расчета и оценки электропотребления в составе тренажера по интеллектуальному управлению в системах электроснабжения цехов добычи нефти и газа ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Модуль представляет собой программный комплекс для оценки энергопотребления СЭС нефтяного месторождения, приспособленный для графического представления топологии схемы электроснабжения и выполнения расчета электрических параметров на основе паспортных данных электрооборудования. В рамках представленного модуля ведется разработка подсистемы управления аварийными режимами.

Чтобы решать задачи, связанные с расчетом уставок, необходимо моделирование. Для этой цели существует блок моделирования в составе модуля, рассчитывающий параметры СЭС методом узловых напряжений [1]. Полученные параметры режимов СЭС предлагается использовать для построения и анализа систем противоаварийного управления.

Разработка подсистемы управления аварийными режимами предполагает ее функционирование в направлениях: анализ действующих объектов; проектирование; подготовка персонала и применение в учебном процессе. Разрабатываемая подсистема должна обеспечивать возможность обрабатывать получаемую информацию с терминалов защит, рассчитывать уставки, сравнивать расчетные значения уставок с фактическими, вырабатывать управляющие сигналы, которые будут использоваться в блоке моделирования для реализации отключения выключателей при срабатывании защит, согласовывать уставки из условий надежности и селективности [2]. Описываемая система рассматривается как инструментальный для подготовки персонала, показывающий, как осуществляется построение схем релейной защиты и автоматики (РЗА), расчет уставок, выбор мероприятий [3] и т.п., привносит дополнительный функционал в виде моделирования режимов работы СЭС в режиме реального времени, анализа существующих схем электроснабжения с позиции детализации, позволяет проследить все этапы функционирования (расчет уставок, их согласование и т.д.), выступает в роли советчика в части выбора оборудования [4] и изменения параметров сети.

Главная идея разработки заключается не в реализации общеизвестных алгоритмов и принципов вычисления уставок, а в предложении некоторых мероприятий. Например, при несоответствии фактической уставки расчетной система должна предложить заменить уставку или провести некоторое изменение структуры сети.

Подсистема управления аварийными режимами должна состоять из функциональных блоков сбора и обработки информации, моделирования, анализа, выработки управляющих воздействий/решений, отчетов.



Рис. 1 – Структурная схема подсистемы

Блок сбора и обработки информации. Основными выполняемыми действиями являются систематизация и обработка данных. Систематизация подразумевает правильный выбор величины из импортируемого набора с дискретами времени. Обработка: в зависимости от решаемой задачи определяется, данные из каких источников будут использоваться. Работа подсистемы подразумевает 3 режима: а) импорт данных из терминалов РЗА и блока моделирования; б) импорт данных только из терминалов РЗА (извне); в) импорт данных только из блока моделирования. Модуль валидации проверяет, все ли поля (свойства, параметры объектов) заполнены. Блок моделирования. В исследовании не входит в разработку. Блок анализа. Сравнивает значения величин из терминалов РЗА и блока моделирования. Блок выработки управляющих воздействий. На основании результатов блока анализа формируются некоторые мероприятия. Блок отчетов формирует таблицы с перечнем оборудования, рекомендуемого к замене, таблицы со значениями параметров, карты селективности.

Алгоритм работы подсистемы управления аварийными режимами представлен в виде блок-схемы на рисунке 2 и включает в себя:

Блок 1: оператор может выбрать существующую схему (блок 2) или собрать новую. Блок 3: набор новой схемы производится с участием блока моделирования. Используя графический интерфейс, оператор рисует схему, присваивает условно-графические обозначения объектам, назначает типы элементов, заполняет свойства и параметры объектов. На выходе образуется расчетная схема. Блок 4: производится проверка вновь собранной или уже существующей схемы на корректность сборки и заполнения полей свойств объектов. Блок 5: предоставляется выбор: смоделировать нормальный или аварийный режим работы системы электроснабжения. Для дальнейшего расчета уставок РЗА в рассматриваемой схеме необходимы значения параметров при нормальном режиме работы системы. При отсутствии данных в БД о работе нормального режима система приступит к моделированию последнего (блок 12). Блок 6: при выборе оператором моделирования аварийного режима система перепроверит, имеются ли данные нормального режима. Блок 7: производится выбор типа короткого замыкания (одно-, двух- или трехфазное). Далее оператор выбирает место КЗ. Если не будет выбран ни один вид КЗ, то система перейдет к моделированию нормального режима. Блоки 8, 10: производится расчет токов КЗ и уставок релейной защиты. Блок 9: система уточняет, откуда взять уставки: а) импорт из терминалов РЗА; б) ручной ввод; в) автоматический расчет уставок. Блок 11: формируются карты селективности.

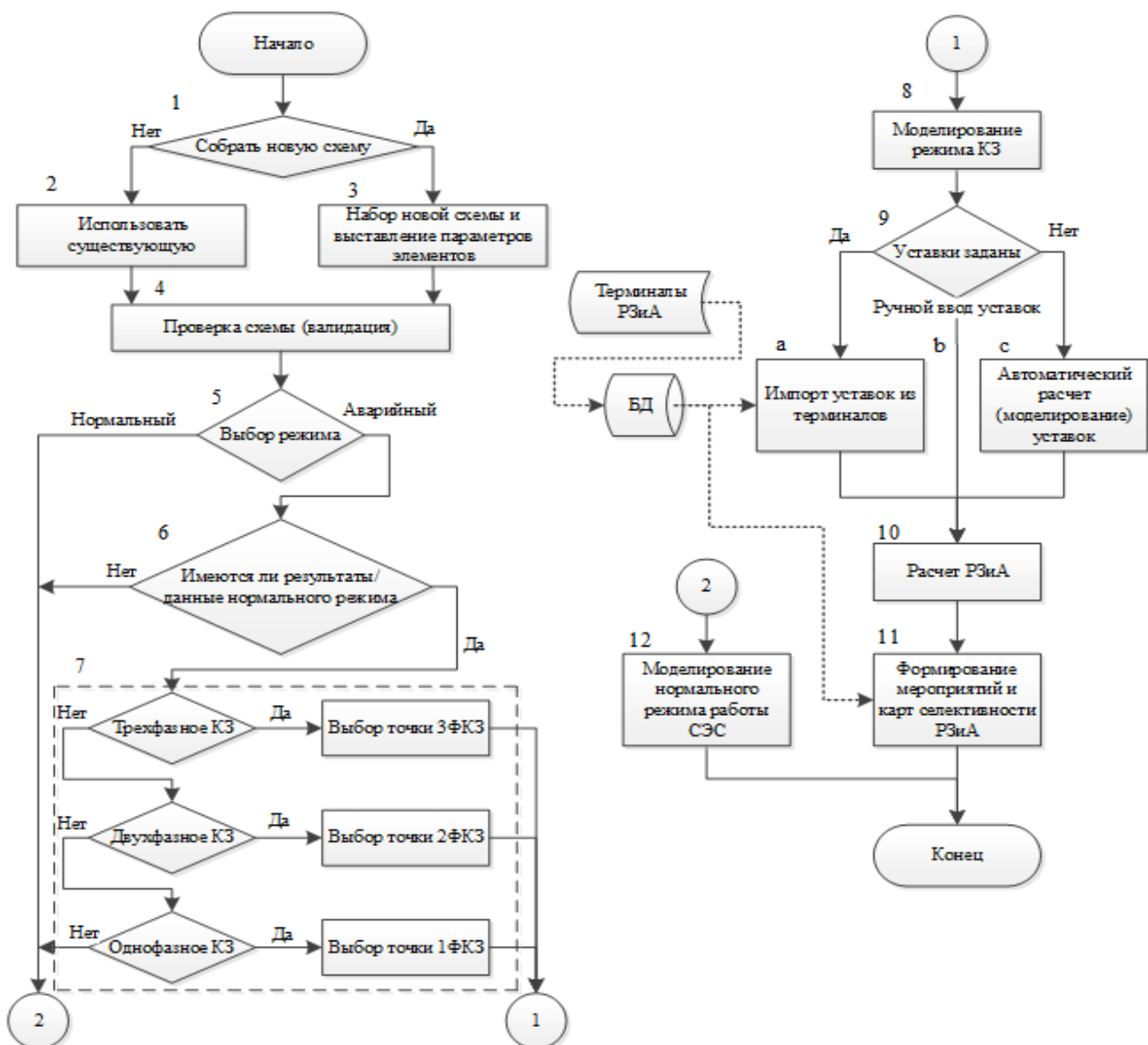


Рис.2 – Алгоритм работы подсистемы в виде блок-схемы

Заключение

Реализация приведенного алгоритма работы подсистемы управления аварийными режимами СЭС позволит, помимо расчета уставок релейной защиты и автоматики, предоставить оператору возможность принятия решений из числа возможных мероприятий. Также алгоритм может служить основой для инструментария по подготовке персонала и решению инженерных задач, который описывает построение схем РЗА, расчет уставок, анализирует существующие СЭС с позиции детализации.

Работа производится в рамках разработки управляющего модуля расчета и оценки электропотребления СЭС цехов добычи нефти и газа в составе тренажера по интеллектуальному управлению для ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Список литературы

1. *Петrochenков А.Б., Ромодин А.В.* Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2013. № 4. С. 20-25.
2. *Хорошев Н.И., Петrochenков А.Б., Ромодин А.В.* Экспертный метод оценки надежности электротехнического оборудования при принятии управленческих решений // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2009. №4. С. 161-164.
3. *Петrochenков А.Б., Бочкарев С.В., Ромодин А.В., Елтышев Д.К.* Планирование процесса эксплуатации электротехнического оборудования с использованием теории марковских процессов. // Электротехника. 2011. № 11. С. 20-24.
4. *Петrochenков А.Б., Ромодин А.В.* Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. 2010. № 6. С. 49-54.
5. *Кузнецов М.И., Ромодин А.В.* Особенности работы трансформаторов тока в схемах учета и релейной защиты // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. 2012. № 1. С. 109-120.

05.13.01

А.П. Сябренко¹, В.С. Тынченко¹ канд. техн. наук, О.А. Бочарова¹,
Т.Г. Орешенко² канд. техн. наук

Сибирский государственный университет науки и технологии им. М.Ф.Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,

¹кафедра информационно-управляющих систем,

²кафедра систем автоматического управления

Красноярск, syabrenkoalex@mail.ru, vadimond@mail.ru, shyx_89@mail.ru, veisver@mail.ru

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АТТЕСТАЦИИ СОТРУДНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ КОХОНЕНА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-6-159-162

В статье рассматривается возможность повышения качества процесса аттестации сотрудников предприятий для анализа соответствия занимаемой ими должности. В качестве решения предлагается использование самоорганизующихся карт Кохонена.

Ключевые слова: аттестация, кластерный анализ, обработка данных, карты Кохонена.

Введение

Аттестация является одной из важнейших функций управления персоналом. Ее роль в системе управления организацией заключается в том, что именно на ее основе управляющий субъект принимает соответствующие решения. [1, 2]

Основные функции аттестации отображены на рисунке 1.



Рис. 1 – Основные функции аттестации и ее результат

Такие задачи управления персоналом, как планирование, поиск, стимулирование и развитие требуют проведения периодических аттестаций личных и профессиональных качеств сотрудника. [3]

Однако, сегодня объём хранящихся данных становится слишком большим для того, чтобы была возможна их обработка традиционными алгоритмами. Таким образом, актуальной представляется задача применения методов интеллектуального анализа данных к обработке результатов аттестации.

Предлагаемый подход

Для решения поставленной задачи предлагается разработать подход на основе метода анализа данных, который бы не только аккумулировал всю информацию по конкретным аттестационным документам, но и мог проводить кластеризацию данных и представлять отчеты в удобном для пользователя виде.

Проводимый анализ предлагается основывать на информации по аттестации сотрудников за прошлые периоды времени, хранимой в реляционных таблицах базы данных.

Для обеспечения процесса кластеризации в работе предлагается применить технологию самоорганизующихся карт Кохонена.

Алгоритмическое обеспечение

Главное назначение кластерного анализа — разбиение множества исследуемых объектов, характеризующих совокупностью признаков, на однородные в соответствующем понимании группы (кластеры). Это означает, что решается задача классификации данных и выявления соответствующей структуры в ней.

К преимуществам данного метода относятся устойчивость к зашумленным данным, а также возможность обучения нейросети без участия «учителя». При таком обучении обучающее множество состоит из значений входных переменных, а в процессе обучения нет сравнения выходов нейронов с желаемыми значениями. [4, 5]

Практическая реализация

Для проведения экспериментальных исследований использовались данные результатов аттестации бухгалтеров конкретного предприятия, имеющего несколько филиалов в разных городах.

В качестве входных переменных для алгоритма кластеризации были выбраны 8 факторов ($x_1, \dots, x_8$):

- x_1 — пол сотрудника (мужской или женский);
- x_2 — отделение, в котором работает сотрудник;
- $x_3, \dots, x_7$ — количество баллов, набранное сотрудником при прохождении аттестации по каждому из пяти разделов;
- x_8 — отметка о прохождении либо не прохождении аттестации сотрудником.

Фрагмент исходных данных представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Фрагмент исходных данных по аттестации сотрудников предприятия

№ п/п	Входные переменные							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
1	М	Октябрьское	60	79	60	72	63	Да
2	М	Октябрьское	60	61	30	5	17	Нет
...	...	...	...	...	...	...	...	...
55	Ж	Октябрьское	60	61	30	66	58	Нет
56	М	Октябрьское	85	78	72	70	85	Да

В эксперименте использовалась выборка из 56 записей.

В результате проведения серии экспериментов было выявлено, что наиболее удобным для последующего анализа является разбиение множества сотрудников на 4 кластера.

Следовательно, структурно искусственная нейронная сеть при решении задачи будет состоять из двух слоев нейронов: входного, имеющего 8 нейронов, и выходного с 4 нейронами (рисунок 2).

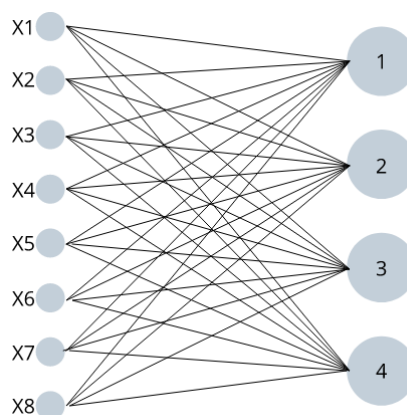


Рис. 2 – Структура нейронной сети Кохонена для кластеризации работников

На этапе предобработки данных была проведена линейная нормализация значений входных переменных в пределах $[0, 1]$ следующим образом:

- пол сотрудника: 0 - женский, 1 - мужской;
- отделение: 0 - Октябрьское, 0,25 - Свердловское, 0,5 - Ленинское, 0,75 - Новосибирское, 1 - Барнаульское.
- аттестован ли сотрудник: 0 - нет, 1 - да.

Для работы с картами Кохонена была использована аналитическая платформа Deductor Studio Academic.

В результате кластеризации были получены раскраски карт по каждому из входных факторов, а также распределение объектов выборки по кластерам. Карты по 4 наиболее значимым факторам: полу, отделению, результатам модуля «Бухгалтерская отчетность» и «Налогообложение» представлены на рисунке 3.

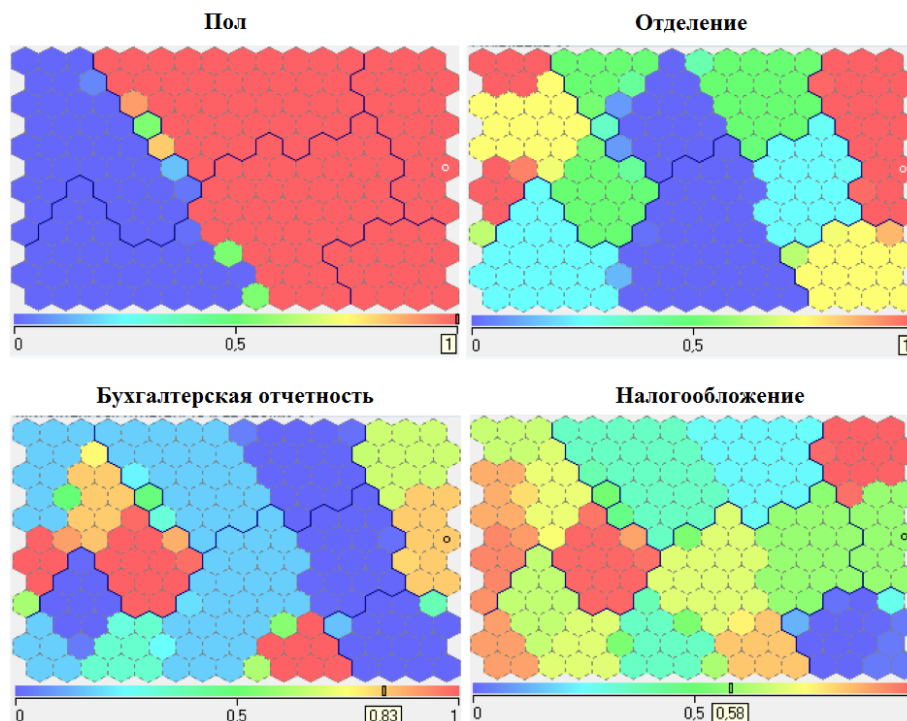


Рис. 3 – Изображение данных, полученное с помощью карт Кохонена

Пример анализа результатов аттестации

В результате проведенного анализа информации по аттестации сотрудников предприятия получено следующее разделение по кластерам:

- кластер 1: сотрудники, прошедшие аттестацию, либо сотрудники, которым не хватило малого количества баллов для ее прохождения. Вероятны ошибки в проверках аттестационных тестов, требуется повторное прохождение.
- кластер 2: сотрудники, не прошедшие аттестацию. Полное несоответствие занимаемой должности. Требуется углубленная дополнительная подготовка.
- кластер 3: сотрудники, мужчины, прошедшие аттестацию. Соответствие занимаемой должности.
- кластер 4: сотрудники, женщины, прошедшие аттестацию. Соответствие занимаемой должности.

На основе проведенного анализа возможно проведение ранжирования отделений по рейтингу сотрудников, которые в них работают. В данном случае наименее подготовленными оказались сотрудники Ленинского отделения. Большинство его сотрудников попали в кластер 2. Соответственно, в данном отделении необходимо проведение комплекса мероприятий по дополнительной подготовке сотрудников либо необходим пересмотр кадровой политики.

Выводы

В работе была рассмотрена проблема анализа результатов аттестации сотрудников предприятий, решение которой с применением самоорганизующихся карт Кохонена позволяет проводить глубокий анализ данных, а также визуализировать результаты для руководителей организации с целью поддержки принятия ими наиболее эффективных решений.

Предложенная методика может быть реализована в рамках комплексной автоматизированной системы аттестации персонала с целью экономии времени руководства кадровой службы за счет предоставления результатов анализа в наглядном виде.

Список литературы

1. Мороз О.Н. Аттестация – важнейший компонент управления персоналом // Вестник СГУГиТ. – 2013. – №. 4 (24).
2. Белейчева А., Гаффорова Е. Послевузовская аттестация: новый взгляд на проблему подбора персонала // Управление персоналом, 2013. - № 1. - С. 28-31.
3. Борисова Е.А. Оценка и аттестация персонала // СПб.: Питер, 2015. -259 с.
4. Манжула В. Г., Федяшов Д. С. Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных // Фундаментальные исследования. – 2011. – №. 4. – С. 78-84.
5. Дюран Б. Кластерный анализ // М.: Медиа, 2013. - 135 с.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

Р.Н. Костромин, П.К.У. Торрехон, Р.Р. Фазулзянов
ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ И УСТАНОВКИ,
МОДЕЛИРУЮЩИЕ ВЫПАДЕНИЕ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ
НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ключевые слова: отложения, нефть и нефтепродукты,
лабораторная установка, висбрекинг, реагенты, кокс.

Рассмотрены методы и лабораторные установки, предназначенные для оценки эффективности реагентов, предотвращающих выпадение твердых отложений нефти и нефтепродуктов в процессе переработки. Основной упор сделан на простые установки. На основе литературного анализа собрана лабораторная установка висбрекинга для оценки эффективности ингибиторов, пассиваторов и диспергаторов кокса.

Р.Н. Костромин, П.К.У. Торрехон, Р.Р. Фазулзянов
ИСПЫТАНИЯ РЕАГЕНТОВ, СНИЖАЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЕ
КОКСА В ПРОЦЕССАХ ВИСБРЕКИНГА

Ключевые слова: висбрекинг, лабораторная установка, гудрон,
ингибиторы, диспергаторы, пассиваторы, кокс.

Предложена лабораторная установка для тестирования реагентов уменьшающих образование кокса в термических деструктивных процессах. Проведена оценка ингибиторов, пассиваторов и диспергаторов кокса разных производителей для процессов висбрекинга. Показана возможность использования фотометрической методики для оценки эффективности этих реагентов.

Е.Ю. Микрюкова, Е.А. Алишева, С.Г. Мингазова, Т.Н. Шигабиев
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ
ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Ключевые слова: скорость химической реакции,
дифференциальное уравнение, производная функции.

В статье представлена разработка лабораторного занятия по теме «Химическая кинетика» с применением методов математического моделирования для обработки полученных результатов.

Д.Р. Шангареев, Т.Н. Антонова, И.Г. Абрамов
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
РЕАКЦИЙ ГИДРИРОВАНИЯ 5-ВИНИЛ-2-НОРБОРНЕНА В
ПРИСУТСТВИИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО КАТАЛИЗАТОРА

Ключевые слова: 5-винил-2-норборнен, винилнорборнан,
жидкофазное гидрирование, тонкодисперсные катализаторы,
реакционная способность двойных связей.

Показана высокая эффективность использования тонкодисперсного катализатора 1%Pd/C в процессе селективного гидрирования 5-винил-2-норборнена в жидкой фазе с целью получения винилнорборнана. Установлено, что в присутствии 1%Pd/C, суспендированного в жидкой фазе, процесс гидрирования протекает в условиях псевдогомогенности в кинетической области. Определены порядки реакции по отдельным реагентам (субстрату, водороду и катализатору) и эффективная энергия активации.

R.N. Kostromin, P.K.U. Torrehon, R.R. Fazulzyanov
LABORATORY METHODS AND INSTALLATIONS
SIMULATING LEAKAGE OF SOLID DEPOSITS FROM
OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

Keywords: deposits, oil and oil Products, laboratory
installation, visbreaking, reagents, coke.

The methods and laboratory setup designed to assess the effectiveness of the reagents, preventing the precipitation of solid deposits of crude oil and petroleum products during processing. The main emphasis is on simple installations. Based on the literature analysis, a laboratory visbreaking unit was assembled to evaluate the effectiveness of inhibitors, coke passivating agents and dispersants.

R.N. Kostromin, P.K.U. Torrehon, R.R. Fazulzyanov
TESTING REAGENTS DECREASING COKE EFFECTS
IN VISBREKING PROCESSES

Keywords: visbreaking, laboratory setup, tar, inhibitors,
dispersants, sequestering, coke.

The proposed laboratory setup for testing of reagents reduces the formation of coke in thermal destructive processes. Evaluation of inhibitors, sequestering and dispersants coke from different manufacturers for the process of visbreaking. The possibility of using photometric techniques for evaluating the effectiveness of these reagents.

E.Y. Mikrukova, E.A. Alisheva, S.G. Mingazova,
T.N. Shigabiev
APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING
METHOD FOR THE RESEARCH OF THE CHEMICAL
REACTION RATE

Keywords: chemical reaction rate, derivative of function,
differential equation.

This article presents the elaboration of the laboratory work on chemical kinetics with application of mathematical modeling method for the treatment of obtained results. As a result, we can obtain the dependence of the reactant concentration change on the time of the reaction proceeding. According that dependence we can calculate the instant reaction rate in any moment. In addition, we can calculate the rate constant for using reaction. Using different metals, or hydrochloric solution of different concentration, we can obtain dependence of reaction rate on nature of reactants or their concentration.

D.R. Shangareyev, T.N. Antonova, I.G. Abramov
INVESTIGATION OF THE KINETIC LAWS OF THE
REACTION OF 5-VINYL-2-NORBORNENE
HYDROGENATION IN THE PRESENCE OF A
TONICODISPERSE CATALYST

Keywords: 5-vinyl-2-norbornene, vinylnorbornane, liquid-
phase hydrogenation, finely dispersed catalysts, reactivity of
double bonds.

The high efficiency of using a 1% Pd / C finely dispersed catalyst during the selective hydrogenation of 5-vinyl-2-norbornene in the liquid phase to obtain vinylnorbornane is shown. It was found that in the presence of 1% Pd / C suspended in the liquid phase, the hydrogenation process proceeds under pseudohomogeneity conditions in the kinetic area. The reaction orders for individual reagents (substrate, hydrogen and catalyst) and effective activation energy are determined.

Д.Г. Алленов, В.В. Копылов, Т.М. Ба, А. Камара
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО
СЛОЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДЕТАЛИ

Ключевые слова: шероховатость, режимы резания, подача, износостойкость, токарная обработка.

В работе исследовано влияние режимов резания на качество поверхностного слоя детали и её эксплуатационные характеристики. Выявлены зависимости подачи при токарной обработке на чистоту поверхности. Обнаружена взаимосвязь между материалом детали, условиями работы, качеством поверхностного слоя и эксплуатационными характеристиками детали.

А.В. Арефьев, М.С. Болховитин, Л.Н. Лесневский, В.А. Панов
АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ШТАМПОВ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ
ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ

Ключевые слова: штамповая оснастка, заготовка, лопатка компрессора, дефекты, объёмная штамповка.

Рассматриваются вопросы, связанные с улучшением технологического процесса изготовления лопаток компрессора последних ступеней ГТД, выполняемых из хромоникелевых сплавов. Авторами на основе известного и собственного опыта детально проанализированы повреждения штампов и заготовок, приведена классификация дефектов и повреждений штамповой оснастки и перечислены основные мероприятия и технические решения выполненные в процессе совершенствования технологического процесса объёмной штамповки лопаток ГТД.

А.Н. Афонин, А.В. Макаров, А.И. Ларин, Е.М. Мартынов
ГЕТЕРОГЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЗЬБ И ПРОФИЛЕЙ
ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Ключевые слова: резьба, шлицы, зубья, гетерогенное упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, усталостная прочность.

В работе установлено, что эксплуатационные характеристики резьб, шлицев, зубьев и других профилей могут быть повышены за счет гетерогенного упрочнения поверхностного слоя. Рассмотрены методы формирования гетерогенной структуры поверхностного слоя резьб и профилей. Установлено, что применение различных способов ППД позволяет в широких пределах варьировать степень, глубину и равномерность упрочнения деталей машин.

А.П. Буйносов, О.И. Ветлугина
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКОСА КОЛЕСНЫХ ПАР НА СНИЖЕНИЕ ИХ
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА В
КРИВОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, движение, путь, кривая, перекос, жизненный цикл, снижение, влияние.

В статье рассмотрен перекос колесных пар относительно оси рельсового пути как один из факторов, влияющих на преждевременное истощение жизненного цикла бандажей электровозов.

В.Г. Жуков, Т.В. Рагимов
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКА
КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Ключевые слова: буровая установка, компрессорная станция, теплообменник воздушного охлаждения.

В работе приведено описание мероприятий по повышению эффективности теплообменника компрессорных станций буровых установок. Методы решения обозначенной задачи состоят в поиске и численном исследовании методов интенсификации теплообмена во внутренней полости труб трубных пучков воздушных теплообменников компрессорных станций буровых установок.

D.G. Allenov, V.V. Kopylov, T.M. Ba, A. Camara
INVESTIGATION OF THE IMPACT OF QUALITY OF
SURFACE LAYER ON PERFORMANCE
CHARACTERISTICS OF THE DETAIL

Keywords: roughness, cutting regimes, feed, wear resistance, turning.

The influence of cutting regimes on the quality of the surface layer of the component and its performance characteristics is investigated. The dependence of the feed during turning on the surface cleanliness is revealed. The relationship between the material of the part, the operating conditions, the quality of the surface layer and the performance characteristics of the part has been revealed.

A.V. Arefiev, M.S. Bolkhovitin, L.N. Lesnevsky, V.A. Panov
ANALYSIS OF DAMAGES AND IMPROVEMENT OF
DIES AND TECHNOLOGY OF DIE FORGING OF GTE
BLADES

Keywords: gas turbine engine, compressor blades, damage of dies.

The issues related to the improvement of the technological process for manufacturing the compressor blades of the last stages of the gas turbine engine (GTE), made of chromium-nickel alloys, are considered. The authors, based on the known and their own experience, analyzed in detail the damage of dies and slugs, categorized the defects and damages of the die tooling.

A.N. Afonin, A.V. Makarov, A.I. Larin, E.M. Martynov
HETEROGENEOUS HARDENING OF THREADS AND
PROFILES BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Keywords: thread, splines, gears, heterogeneous hardening, surface plastic deformation, fatigue strength.

It is established that the performance characteristics of threads, splines, gears and other profiles can be evaluated due to heterogeneous hardening of the surface layer. Methods of forming a heterogeneous structure of the surface layer of threads and profiles are considered. It has been established that the use of various SPD methods allows varying the degree, depth and uniformity of hardening of machine parts within wide limits.

A.P. Buinosov, O.I. Vetlugina
THE EFFECT OF MISALIGNMENT OF WHEELSETS ON
LOWERING THEIR LIFE-CYCLE WITH THE
MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE IN THE CURVED
AREA OF THE TRACK

Keywords: electric locomotive, wheelset, movement, path, curve, skew, life cycle, reduction, impact.

The article considers the skew of wheel pairs relative to the axis of the rail track as one of the factors affecting the premature exhaustion of the life cycle of electric locomotives' bandages.

V.G. Zhukov, T.V. Ragimov
IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE COMPRESSOR
STATIONS HEAT EXCHANGER OF DRILLING RIGS

Keywords: drilling rig, compressor station, air-cooled heat exchanger.

The paper describes measures to improve the efficiency of the heat exchanger of compressor stations of drilling rigs. Methods of solution of the indicated problem consist in search and numerical research of methods of intensification of heat exchange in the internal cavity of pipes of tube beams of air exchangers of compressor stations of drilling rigs.

С.В. Зинченко, А.Ф. Тихонов

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ДВУХСТАДИЙНЫМ ПРОЦЕССОМ
ДРОБЛЕНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Ключевые слова: Технологический процесс дробления, щековые и конусные дробилки, фракционированный заполнитель в заданном соотношении, зерновые характеристики, управляемый шибер, управляющие воздействия, система управления, разгрузочные отверстия дробилок.

В статье рассмотрены основные принципы организации управления технологическим дробильно-сортировочным оборудованием, позволяющие непрерывно обеспечить производство строительных смесей фракционированным заполнителем в заданном соотношении для производства строительных смесей. Приведены регулировочные зерновые характеристики, позволяющие теоретически обосновать параметры управления исполнительными механизмами, позволяющие получить заданное соотношение фракций щебня в соответствии с рецептом смеси, определяемым ГОСТ 9128-96, Установлен новый принцип управления соотношением фракций щебня за счет регулирования потока сверхмерного материала (>40мм) с применением управляемого многопозиционного шиберов для переработки в двух дробилках с различными зерновыми характеристиками.

А.А. Морозенко, Д.В. Красовский

ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ
ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ КЛЮЧЕВЫХ СОБЫТИЙ

Ключевые слова: Управление строительными проектами, инвестиционно-строительный проект, матрица ключевых событий, взаимодействия в организационной структуре, информационная модель, конфигурация задач.

В статье представлена зависимость реализации задач проекта от действий взаимосвязанных элементов системы проекта. Рассмотрен процесс перехода от одного события проекта к другому. Определена система соответствия области технологических задач проекта и организационной структуры, используемой в проекте, что в свою очередь является необходимым условием гармоничного функционирования исполнительной подсистемы проекта. Рассмотрена связь технологической работы и организационной структуры через выстраиваемые взаимосвязи между ответственными элементами в структуре проекта. Предложена логико-математическая функция реализации взаимодействий.

С.В. Прохоров

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ключевые слова: строительство, автоматизация, беспилотные летающие аппараты, организация строительства, энергоэффективность.

С развитием человечества эволюционировали и строительные технологии, орудия труда, машины и механизмы. Современные темпы развития экономики предъявляют повышенные требования к скорости строительства, его качеству, а также снижению трудоемкости выполнения работ. Целью исследований являлось определение областей строительства, в которых целесообразно заменить ручной труд, а также разработка рекомендаций для строительных компаний по внедрению средств механизации и автоматизации в свое производство.

S.V. Zinchenko, A.F. Tikhonov

PRINCIPLES OF ORGANIZATION OF MANAGEMENT
OF A TECHNOLOGICAL TWO-STAGE PROCESS OF
CRUSHING A CLOSED CYCLE

Keywords: Crushing technological process, jaw and cone crushers, fractionated aggregate in a given ratio, grain characteristics, controlled slide, control actions, control system, unloading holes of crushers.

The article considers the basic principles of organization of management of technological crushing and sorting equipment, which allows to continuously ensure the production of construction mixtures by fractionated aggregate in a given ratio for the production of building mixtures. The adjusting grain characteristics allowing theoretically justify the control parameters of the actuating mechanisms allowing to obtain a predetermined ratio of fractions of crushed stone in accordance with the recipe of the mixture determined by GOST 9128-96 are given. A new principle of control of the ratio of fractions of crushed stone is established by controlling the flow of an excess material (> 40 mm) controlled multi-position slide for processing in two crushers with different grain characteristics.

A.A. Morozenko, D.V. Krasovskiy

LOGIC-MATHEMATICAL FUNCTION OF FORMING
THE COMMUNICATIONS IN THE ORGANIZATIONAL
STRUCTURE OF THE PROJECT BASED ON THE
MATRIX OF KEY EVENTS

Keywords: management of construction projects, investment-construction projects, matrix of key events, interaction in the organizational structure, information model, task configuration

The article shows the relationship of the project tasks from activities related elements of the project system. The process of transition from one project event to another is considered. Defines the system corresponds of technological tasks and the organizational structure used in the project, which in turn is a prerequisite for the harmonious functioning of the project executive subsystem. The connection of technological work and organizational structure through the interrelations between the responsible elements in the project structure is considered. Proposed the implementation of logic-mathematical function interactions.

S.V. Prokhorov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF USAGE OF
AUTOMATED AND ROBOTIC SYSTEMS IN
CONSTRUCTION

Keywords: construction, automation, unmanned aerial vehicles, construction organization, energy efficiency.

With the development of mankind, construction technologies, tools, machines and mechanisms have evolved. A large number of technological processes and operations carried out in the design and construction of real estate, carried out manually. Modern rates of economic development impose increased demands on the speed of construction, its quality, as well as reduce the complexity of the work. The purpose of the research was to determine the areas of construction in which it is advisable to replace manual labor, as well as the development of recommendations for construction companies on the introduction of mechanization and automation in their production.

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов
РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОДВЕСЕ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ
ЧАСТОТЫ ВОЛНЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ СТАТОРА
ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: поезд, двигатель, статор, частота, волна, подвес, электродинамика, индукция, движение, скорость, регулирование.

В статье приведены уравнения и зависимости, доказывающие, что можно управлять процессами движения линейного синхронного двигателя, изменяя только частоту бегущей волны магнитной индукции статорной обмотки, при этом частота должна изменяться пропорционально скорости движения поезда на электродинамическом подвесе.

А.Б. Юн, С.В. Захарьян, О.М. Синянская, Л.М. Каримова,
И.В. Терентьева
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СМЕШАННЫХ
МЕДНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛОТАЦИОННО-
ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: смешанные руды, обогащение, черновой концентрат, выщелачивание, раствор.

Представлены результаты лабораторных исследований по разработке комбинированной флотационно-гидрометаллургической технологии переработки смешанных медных руд месторождения «Крестовентер». В результате флотационного обогащения руды получен черновой коллективный концентрат с извлечением меди 67,35 %, серебра 58,44 %, при гидрометаллургической переработке которого степень перехода в раствор меди составила 99,40%, серебра 92,09 %.

П.В. Волобуев, Е.Д. Усков, К.О. Хохлов, В.П. Новоселов,
А.П. Волобуев, К.Н. Пестов, Е.В. Моисейкин
СТАЦИОНАРНОЕ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ
УСТРОЙСТВО ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: магнитотерапевтическое устройство, оптимизированные индукторы, система управления и формирования импульсов, система теплосъема, система механического привода, биотропные параметры магнитного поля, избирательное угнетение злокачественных опухолей.

Разработано стационарное магнитотерапевтическое устройство прямого действия. Устройство состоит из двух оптимизированных соосно расположенных индукторов, секционной системы теплосъема, системы механического привода, системы управления и формирования импульсов напряжения. Доступна широкая вариация комплекса биотропных параметров магнитного поля в исследовательских или терапевтических целях. При интенсивном воздействии обеспечивается избирательное угнетение злокачественных опухолей.

Г.М. Мучкаева, Е.А. Бudevич, А.С. Бирюков, М.Б. Нахаев
ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ
ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ КЛАПАННОЙ ГРУППЫ,
ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: клапан, погрешность, биение инструментального блока, базирование инструмента режущего характера, средства измерения.

Рассмотрены допустимые значения контролируемых параметров до ремонта и комплекс средств для обнаружения дефектов деталей клапанной группы двигателя А-41. Приведены различные виды погрешностей, проявляющиеся в процессе ремонта деталей двигателей внутреннего сгорания; предложен метод для уменьшения величины погрешностей с применением средства для очистки клапанов двигателей от нагара.

N.G. Fetisova, A.P. Buinosov
REGULATION OF TRAIN SPEED ON
ELECTRODYNAMIC SUSPENSION BY CHANGING
THE FREQUENCY OF THE MAGNETIC INDUCTION
WAVE OF THE MOTOR STATOR

Keywords: train, engine, stator, frequency, wave, suspension, electrodynamics, induction, movement, speed, regulation.

The article presents the equations and dependences proving that it is possible to control the processes of motion of a linear synchronous motor, changing only the frequency of the traveling wave of the magnetic induction of the stator winding, while the frequency should change in proportion to the speed of the train on the electrodynamic suspension.

A.B. Yun, S.V. Zakharyan, O.M. Sinyanskaya,
L.M. Karimova, I.V. Terentyeva
RESEARCH ON THE PROCESSING OF MIXED COPPER
ORES WITH THE USE OF FLOTATION-
HYDROMETALLURGICAL TECHNOLOGY

Keywords: mixed ores, beneficiation, rough concentrate, leaching, solution.

The results of laboratory studies on the development of a combined flotation-hydrometallurgical technology for the processing of mixed copper ores at the Crestcenter deposit are presented. As a result of flotation enrichment of ore, a rough collective concentrate with a copper recovery of 67.35% and silver 58.44% was obtained, with a hydrometallurgical processing of which the degree of transition into a solution of copper was 99.40%, silver 92.09%.

P.V. Volobuyev, E.D. Uskov, K.O. Khohlov,
V.P. Novosiolov, A.P. Volobuyev, K.N. Pestov,
E.V. Moiseikin

STATIONARY MAGNETO-THERAPEUTIC DEVICE
FOR STRIGHT EFFECT

Keywords: magneto-therapeutic device, optimized inductors, pulse formation control unit, cooling units, power-driven lift, bioactive magnetic field parameters, selective malignant tumors inhibition.

The stationary magneto-therapeutic device for straight effect is developed. The device is composed of two axial optimized inductors, sectional cooling units, power-driven lift and voltage pulse formation control unit. Wide range of bioactive magnetic field parameters for research and therapeutic purposes is available. Selective malignant tumors inhibition is provided by intense exposure.

G.M. Muchkaeva, E.A. Budevich, A.S. Biryukov,
M.B. Nahaev
RESEARCH OF MEANS OF MEASUREMENT AND
ELIMINATION OF DEFECTS OF VALVE GROUP
DETAILS ARISING IN THE PROCESS OF ENGINE
OPERATION

Keywords: valve, error, beating of the tool block, the basis of the cutting tool, measuring instruments.

The permissible values of the monitored parameters prior to the repair and the set of means for detecting defects in the valve group of the A-41 engine are considered. Various types of errors are revealed, which are manifested during the repair of parts of internal combustion engines; A method is proposed to reduce the magnitude of the errors with the use of means for cleaning the engine valves from the deposit.

И.В. Нелин, Д.А. Охотников, В.В. Бухарева
РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ДАТЧИК НАБЛЮДЕНИЯ ЗА
ВОДИТЕЛЕМ

Ключевые слова: радиолокационный датчик, система контроля состояния водителя, безопасность вождения автомобиля.

В статье рассматривается возможность применения малоомощного радиолокационного датчика, закрепленного на ремне безопасности в автомобиле, с целью встраивания в автоматизированную систему контроля состояния водителя движущегося транспортного средства.

В.Х. Хуранов, А.С. Ципинов, Х.К. Сасиков, А.М. Курашев,
Л.В. Шогенова

УЛУЧШЕННЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ОДНОСЛОЙНОЙ СТЕНОВОЙ ПАНЕЛИ ИЗ
ПЕПЛОТУФОБЕТОНА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КБР

Ключевые слова: конструктивно-теплоизоляционный бетон, стеновая панель, жилой дом, крупнопанельное домостроение, энергосбережение.

В статье проведен анализ ограждающих конструкции для крупнопанельных жилых домов, которые предназначены для природно-климатических условий Кабардино-Балкарской республики (КБР). Приведены теплотехнические показатели существующих стеновых панелей, которые не соответствуют современным требованиям норм. Авторами предлагается новое решение ограждающей стеновой конструкции на пористых заполнителях КБР. Представлены ее теплотехнические характеристики.

С.В. Бочкарев, А.Ю. Глухов, И.И. Аликина
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ
ПРЕДПРИЯТИИ

Ключевые слова: энергетический мониторинг, энергетические данные, тепловая энергия, компрессор, устройство удаленной телеметрии и управления, энергоэффективность.

Предложен метод расчета потерь низкопотенциальной тепловой энергии на предприятии, специализирующемся на выпуске строительных материалов. Рассмотрен подход к оценке энергетического потенциала тепловых потоков на предприятии. Построены тепловые потоки на разных участках предприятия.

С.В. Бочкарев, Р.Р. Хисамов
ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Ключевые слова: надежность, релейная защита и автоматика, расчет.

В статье рассмотрена надежность релейной защиты и автоматики систем электроснабжения подстанций филиала ОАО «МРСК Урала» - «Пермэнерго», а также проанализированы различные методы расчета оценки надежности. Предложен метод оценки надежности релейной защиты и автоматики с учетом, полноценного использования релейной защиты и автоматики по стороне 110 кВ и 10 кВ.

Е.В. Галкина
АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЕКТНОЙ
ДОКУМЕНТАЦИИ

Ключевые слова: информационная модель, BIM, верификация проектной документации.

В работе проведен анализ существующих инструментов верификации проектной документации; подробно описаны функционал, достоинства и недостатки каждого решения; сделаны выводы о возможности и целесообразности использования того или иного приложения.

I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov, V.V. Buhareva
RADIOLOCATION SENSOR FOR THE OBSERVATION
FOR THE DRIVER

Keywords: radiolocation sensor, driver's condition monitoring system, driving safety.

The article considers the possibility of using a low-power radar sensor attached to a seatbelt in a car, for the purpose of being integrated into an automated system for monitoring the condition of the driver of a moving vehicle.

V.Kh. Khuranov, A.S. Tsypinov, Kh.K. Sasikov,
A.M. Kurashev, L.V. Shogenova
IMPROVED HEAT TECHNICAL INDICATORS A
SINGLE-LAYER WALL PANEL FROM
PEPLOTOPHOBETONE OF CBD DEPOSITS

Keywords: structural and heat-insulating concrete, wall panel, residential building, large-panel housing construction, energy saving.

The article analyzes the enclosing structures for large-panel residential buildings that are designed for the natural and climatic conditions of the Kabardino-Balkaria Republic (CBD). The heat engineering indicators of various wall panels are given, which do not correspond to the modern requirements of the norms. The authors suggest a new solution to the enclosing wall structure on porous aggregates of the CBD. Its thermal characteristics are presented.

S.V. Bochkarev, A.Yu. Glukhov, I.I. Alikina
METHOD FOR CALCULATING LOSSES LOW-
POTENTIAL THERMAL ENERGY AT A PRODUCTION
ENTERPRISE

Keywords: energy monitoring, energy data, thermal energy, compressor, remote telemetry and control device, energy efficiency.

A method is proposed for calculating losses low-potential thermal energy in an enterprise specializing in the production of building materials. The approach to estimation of energy potentials of heat flows in the enterprise is considered. Heat flows were built at different sites of the enterprise.

S.V. Bochkarev, R.R. Khisamov
THE PROBLEM OF ASSESSING THE RELIABILITY OF
MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION DEVICES

Keywords: assessment of reliability of relay protection and automation, calculation.

The article considers the reliability of relay protection and automatics of power supply systems of substations of the branch of JSC "IDGC of Urals" - "Permenergo" and analyzed different methods for estimating reliability. The method of evaluation of reliability of relay protection and automation and accounting, the full use of the relay protection and automatics on the side of 110 kV and 10 kV.

E.V. Galkina
ANALYSIS OF VERIFICATION TOOLS FOR DESIGN
DOCUMENTATION

Keywords: information model, bim, verification of design documentation.

The paper includes analysis of existing tools for verification of design documentation and describes their main functions, advantages and disadvantages. The article also gives a summary of possible implementation of each application.

А.Ю. Глухов, С.В. Бочкарев

**АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ
НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИЕЙ**

Ключевые слова: энергетический мониторинг, энергетические данные, тепловая энергия, компрессор, устройство удаленной телеметрии и управления, энергоэффективность.

Предложена структура информационных потоков системы мониторинга тепловой энергии. Предложен алгоритм работы системы мониторинга тепловой энергии. Разработана архитектура системы мониторинга и управления тепловой энергией на предприятии. Система может быть интегрирована в комплексные информационные платформы для мониторинга и управления тепловой энергией предприятия.

**С.В. Данилова, А.А. Проценко, Е.С. Кротова
ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ
ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ
ДОКУМЕНТООБОРОТА**

Ключевые слова: система электронного документооборота, электронная коммерция, эффективность.

В статье рассмотрены практические аспекты внедрения системы электронного документооборота на предприятиях с территориально-распределенной сетью филиалов, особенности организации документооборота в e-commerce.

И.Я. Дятлов, В.В. Черняев

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ
САМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ГРЕЮЩЕГО КАБЕЛЯ**

Ключевые слова: саморегулирующий греющий кабель, нагревательная полимерная матрица, температурное поле, удельное сопротивление.

Проведено исследование электрических характеристик и конструкции саморегулирующего греющего кабеля (СГК), разработана математическая модель работы данного изделия, решена температурная задача в среде ANSYS fluent в условиях естественной конвекции.

А.Г. Ельфинова, Е.В. Игнатова

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ В КАЧЕСТВЕ ИННОВАЦИИ**

Ключевые слова: Инновация, критерии инновации, информационное моделирование зданий, BIM.

В настоящий момент все чаще многие технологии называют инновационными без обоснования. И наоборот, некоторые по-настоящему инновационные подходы остаются без внимания. Для определения технологии в качестве инновации необходимо не только сформулировать критерии инновации, но и раскрыть само понятие этого слова. В данной статье проведено исследование технологии информационного моделирования зданий с целью возможности его определения в качестве инновации.

В.К. Ионычев, А.А. Шестеркина

**ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ОБЛАСТИ ИОНИЗАЦИИ В
АРСЕНИДГАЛЛИЕВЫХ РЕЗКИХ P – N-ПЕРЕХОДАХ**

Ключевые слова: лавинный пробой, p – n-переход, ударная ионизация, область ионизации, напряжение пробоя, коэффициент ионизации.

Проведен численный расчет области ионизации в резких арсенидгаллиевых p – n-переходах в диапазоне пробивных напряжений 15 – 6000 В. При расчете использовались коэффициенты ударной ионизации электронов и дырок, которые в настоящее время считаются наиболее точными и пригодными в широком диапазоне электрических полей. Предлагается аппроксимационное выражение для зависимости минимальной толщины слаболегированной базы от напряжения пробоя, при которой справедливо известное и широко распространенное выражение для расчета напряжения лавинного пробоя $p^+ - n - n^+$ -структур.

A.Yu. Glukhov, S.V. Bochkarev

**THE ARCHITECTURE OF THE MONITORING AND
CONTROL SYSTEM OF LOW-POTENTIAL THERMAL
ENERGY**

Keywords: energy monitoring, energy data, thermal energy, compressor, remote telemetry and control device, energy efficiency.

The structure of information flows of the thermal energy monitoring system is proposed. The algorithm of the thermal energy monitoring system is proposed. The architecture of the system of monitoring and management of thermal energy in the enterprise is developed. The system can be integrated into complex information platforms for monitoring and managing the thermal energy of the enterprise.

**S.V. Danilova, A.A. Protsenko, E.S. Krotova
PRACTICAL ASPECTS OF INTRODUCTION OF
TERRITORIAL-DISTRIBUTED DOCUMENT
TURNOVER SYSTEM**

Keywords: electronic document management system, e-Commerce, efficiency.

The article deals with the practical aspects of the introduction of electronic document management system in enterprises with a geographically distributed network of branches, especially the organization of document management in e-commerce.

I.Y. Dyatlov, V.V. Chernyaev

**THE STUDY OF THE HEATING VALUE OF A SELF-
REGULATING HEATING CABLE**

Keywords: self-regulating heating cable, heating polymer matrix, temperature field, resistivity.

The study of the electrical characteristics of the self-regulating heating cable, developed a mathematical model of this product, solved the temperature problem in the environment ANSYS fluent under natural convection.

A.G. Elfimova, E.V. Ignatova

**ANALYSIS OF BUILDING INFORMATION
MODELLING TECHNOLOGY AS AN INNOVATION**

Keywords: Innovation, innovation criteria, Building Information Modelling, BIM.

Today more and more often a lot of technologies can be called innovative without any justifications. Conversely, some real innovative approaches remain undressed. To define any technology as an innovation, it is necessary not only to formulate the innovation criteria, but also to discover the exact concept of this word. In this article, there is a research of the building information modelling technology with the view of an innovation.

V.K. Ionychev, A.A. Shesterkina

**NUMERICAL CALCULATION FIELD IONIZATION IN
ARSENIDGALLIEVYH SHARP P – N-JUNCTIONS**

Keywords: avalanche breakdown, p – n-junction, impact ionization, ionization region, breakdown voltage, ionization coefficient.

A numerical calculation of the ionization region in sharp arsenide-gallium p-n-junctions in the range of breakdown voltages of 15–6000 V. The calculation used the impact ionization coefficients of electrons and holes, which are now considered to be the most accurate and suitable for a wide range of electrical fields. An approximate expression is proposed for the dependence of the minimum thickness of a weakly doped base on the breakdown voltage at which the well-known and widely used expression for calculating avalanche breakdown voltage of the $p^+ - n - n^+$ -structure is valid.

А.О. Казакова

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ МОДЕЛИ МИКСЕРА В РАМКАХ ПРИБЛИЖЕНИЯ СТОКСА

Ключевые слова: модель миксера, течение вязкой жидкости, приближение Стокса, функция тока, метод граничных элементов.

В работе проведено численное исследование плоской задачи течения вязкой жидкости в приближении Стокса и в качестве приложения рассмотрена модель миксера. Математическая модель описывается бигармоническим уравнением, которое сводится к системе уравнений относительно двух гармонических функций. Система решается численно с применением метода граничных элементов. Проведены тестовые расчеты и расчеты модели миксера для различных форм лопатки.

Г.Е. Кокиева

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБОРУДОВАНИИ ПО МОДУЛЮ «ФИКСИРОВАННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ»

Ключевые слова: физический процесс, технология, многофакторный численный эксперимент, дифференциальные уравнения.

Разработано оборудование с трехъярусным перемешивающим устройством. Адекватность работы аппарата и протекающего в нем физического процесса описывается при помощи экспериментального исследования. В связи с этим был проведен численный многофакторный эксперимент, адекватно описывающий процесс происходящий в предлагаемом аппарате, данные обрабатывались по модулю «фиксированные нелинейные модели».

Г.Е. Кокиева, И.Б. Елтунова, В.В. Рабданова

ПРОВЕДЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПУТЁМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: производительность оборудования, многофакторный численный эксперимент, зависимости процесса микробиологического синтеза, уровень варьирования соответствующего фактора, матрица многофакторного численного эксперимента.

Данный многофакторный эксперимент проведён с целью выявления уровня влияния факторов на производительность оборудования и получения математической модели, адекватно описывающей процесс происходящий в предлагаемом аппарате. Данный аппарат имеет компактную конструкцию и удобен в применении.

С.В. Латухов, Н.В. Першин

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Ключевые слова: транспортно-технологические системы, перевозки, сжиженный природный газ, гидрометеорологические условия, Арктическая зона, автоматизированный проектный комплекс.

Рассмотрены вопросы рационального построения транспортно-технологических систем при перевозках сжиженного природного газа в Арктике. Рассмотрена роль информационно-аналитической системы управления размещением производства как центра получения и анализа всей информации по размещению и функционированию производства сжиженного природного газа. Показано, что такая задача является многокритериальной. Установлено, что основным количественным критерием для выбора рационального размещения производства сжиженного природного газа является себестоимость продукта. Определено, что рациональное решение при множестве паретовских решений предполагает использование метода последовательных уступок, который сводит решение задачи по многим критериям к максимизации оцениваемых критериев по очереди и определению уступок, которые характеризуют отклонение приоритета одних

А.О. Kazakova

NUMERICAL CALCULATION OF THE MODEL OF MIXER IN TERMS OF THE STOKES APPROXIMATION

Keywords: the model of mixer, viscous fluid flow, Stokes approximation, stream function, boundary element method. A numerical study of the plane viscous flow problem in terms of the Stokes approximation is carried out and the mixer model is considered as an appendix. The mathematical model is described by a biharmonic equation that reduces to a system of equations for two harmonic functions. The system is solved numerically using the boundary element method. Test calculations and calculations of the model of mixer for various blade shapes were carried out.

G.E. Kokieva

THE STUDY OF PHYSICAL PROCESSES IN EQUIPMENT MODULO «A FIXED NONLINEAR MODEL»

Keywords: physical process, technology, multifactorial numerical experiment, differential equations.

The equipment with a three-tier mixing device was developed. The adequacy of the device and the physical process occurring in it is described by means of an experimental study. In this regard, a numerical multifactorial experiment was carried out, adequately describing the process taking place in the proposed apparatus, the data were processed by the module "fixed nonlinear models".

G.E. Kokieva, I.B. Eltyanova, V.V. Rabdanova

THE MULTIFACTORIAL EXPERIMENT, BY MATHEMATICAL MODELING USING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Keywords: equipment performance, multifactorial numerical experiment, dependence of the process of microbiological synthesis, the level of variation of the corresponding factor, the matrix of the multifactorial numerical experiment.

This multi-factor experiment was conducted to identify the level of influence of factors on the performance of the equipment and to obtain a mathematical model that adequately describes the process taking place in the proposed apparatus. This device has a compact design and easy to use.

S.V. Latukhov, N.V. Pershin

RATIONAL CREATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS BY LIQUEFIED NATURAL GAS PRODUCTION

Keywords: transport and technological systems, transportations, liquefied natural gas, hydroweather conditions, the Arctic zone, the automated design complex.

Questions of rational creation of transport and technological systems when transporting liquefied natural gas are considered in the Arctic. The role of an information and analytical control system of production placement as center of receiving and analysis of all information on placement and functioning of liquefied natural gas production is considered. It is shown that such task is multicriteria. It is established that the main quantitative criterion for the choice of rational placement of liquefied natural gas production is prime cost of a product. It is defined that the rational decision at a set of pareto'sky decisions assumes use of a method of consecutive concessions which consolidates the solution of a task of many criteria to maximizing the estimated criteria in turn and to definition of concessions which characterize a deviation of a priority of one criteria before others. As a result of the decision the necessary number of vessels which provides the

критериев перед другими. В результате решения устанавливается требуемое количество судов, которое обеспечивает с определенной надежностью бесперебойный режим функционирования всей системы.

Д.А. Лобанов, Е.В. Бражникова, А.М. Романов, Л.В. Казанцева
ПРОГРАММНАЯ ЭМУЛЯЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR

Ключевые слова: эмуляция микроконтроллера, архитектура avr, программная эмуляция, виртуальный микроконтроллер.
Рассмотрена задача создания программного эмулятора микроконтроллера Atmel AVR atmega 8, который позволит минимизировать затраты на его изучение и выполняет роль аппаратного стенда. Приводится описание общей архитектуры, методики и алгоритма проектирования программной реализации, процесса функционирования ядра эмулятора и принципа его сопряжения с пользовательским интерфейсом.

Т.Ф. Мамедова, Д.К. Егорова, Н.В. Василькин
МЕТОД ПОКОМПОНЕНТНОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ
ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Ключевые слова: покомпонентная асимптотическая эквивалентность, устойчивость, эквивалентность по Брауэру, электрическая цепь.
В работе представлены результаты исследования устойчивости электрической цепи с помощью математического аппарата покомпонентной асимптотической эквивалентности. Математическая модель электрической цепи содержащей выпрямители, описана системой нелинейных дифференциальных уравнений. Приведен критерий покомпонентной устойчивости решений для подобных систем и даны рекомендации по его применению.

Е.Н. Минаев, Д.В. Цыпин, Д.С. Хорищенко
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ СЛОИСТОМ ТЕЧЕНИИ
ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ ТЕПЛООБМЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: математическое моделирование; конвекция, теплопроводность, дифференциальное уравнение.
Моделирование проведено на основе решения дифференциального уравнения конвективной теплопроводности в условиях плоскопараллельного течения жидкости с параболическим профилем скорости. При решении уравнения предложена замена переменных. Получены выражения для расчёта профиля температуры и плотности теплового потока. Представлены результаты численного моделирования конвективной теплопроводности.

М.В. Овечкин
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ТОЧЕНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизация контроля, дефектоскопия, распознавание образов, электромагнитное излучение, радиография.
В работе представлены результаты системного анализа дефектоскопии точечных сварных соединений. Отмечено, что при применении электромагнитных методов контроля, основой автоматизации является распознавание получаемых изображений (рентгенограмм) с целью выработки решений о наличии или отсутствии дефектов. Описана модель рентгенограммы сварного соединения представляющая собой двухуровневую классификацию сварной точки. Проиллюстрирован способ автоматизированной классификации по нарушению диаметра литого ядра. Приведена структурная схема автоматизированного рентгенографического контроля. Сделаны выводы о необходимости построения автоматизированной системы, включающей в себя программное обеспечение по распознаванию параметров соединений.

uninterrupted mode of functioning of all system with certain reliability is set.

D.A. Lobanov, E.V. Brazhnikova, A.M. Romanov,
L.V. Kazanceva
SOFTWARE EMULATION OF THE ARCHITECTURE OF
AVR MICROCONTROLLERS

Keywords: microcontroller emulation, avr architecture, software emulation, virtual microcontroller.
The task of creating a software emulator of Atmel AVR atmega8 microcontroller, which will minimize the cost of its study and serves as a hardware stand, is considered. A description of the General architecture, methodology and algorithm for designing software implementation, the operation of the emulator core and the principle of its interface with the user interface.

T.F. Mamedova, D.K. Egorova, N.V. Vasilkin
METHOD OF COMPOCIENT ASYMPTOTIC
EQUIVALENCE IN THE PROBLEM OF THE ELECTRIC
CHAIN STABILITY

Keywords: componentwise asymptotic equivalence, stability, Brauer equivalence, electric circuit.
The paper presents the results of the study of the stability of an electrical circuit using the mathematical apparatus of componentwise asymptotic equivalence. The mathematical model of an electrical circuit containing rectifiers is described by a system of nonlinear differential equations. The criterion of componentwise stability of solutions for such systems is given and recommendations for its application are given.

E.N. Minaev, D.V. Tsy-pin, D.S. Horishenko
MATHEMATICAL MODELING OF CONVECTIVE
THERMAL CONDUCTIVITY IN THE CHANNELS OF
HEAT-EXCHANGE EQUIPMEN WHEN THE FLOW OF
FLUID IS LAYERED

Keywords: mathematical modeling, convection, thermal conductivity, differential equation.
Mathematical modeling of convective thermal conductivity is presented. Differential equation of convective diffusion with velocity profile in the form of a parabolic function is used. Formulas for calculating of temperature and flux of energy in the boundary of metal and liquid were discovered. The results of the calculation of profile temperature is presented.

M.V. Ovechkin
AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL CONTROL OF
POINT WELDED COMPOUNDS BASED ON
ELECTROMAGNETIC RADIATION

Keywords: automation of control, defectoscopy, pattern recognition, electromagnetic radiation, radiography.
The paper presents the results of a system analysis of flaw detection of point welded joints. It is noted that with the use of electromagnetic methods of control, the basis of automation is the recognition of obtained images (roentgenograms) in order to develop solutions on the presence or absence of defects. The model of the welded joint X-ray diffraction pattern is presented which is a two-level classification of the welded point. The method of automated classification for breaking the diameter of a molten core is illustrated. A block diagram of the automated X-ray inspection is given. It is concluded that it is necessary to build an automated system that includes software for recognizing connection parameters.

П.Г. Погорелов

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ
ДОКУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО
ПОДХОДА

Ключевые слова: OCR, оптическое распознавание символов, сверточные нейросети, рекуррентные нейросети.

В статье предлагается метод выделения и распознавания содержательной части документа на основе нейросетевой композиции. Предложенный подход использует новейшие исследования в области семантического анализа текста.

P.G. Pogorelov

A NEURAL NETWORK BASED APPROACH FOR THE
EXTRACTION OF TEXTUAL DOCUMENT'S CONTENT

Keywords: OCR, optical character recognition, convolutional neural networks, recurrent neural networks. The article describes a neural network approach for the extraction of the textual document's content. The proposed algorithm is based on the modern researches in the domain of semantic analysis of natural language texts.

А.В. Пухкой, Е.Ю. Кирейчева, Т.Ф. Мамедова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ
ЦЕНТРОВ

Ключевые слова: логистический центр, отображение, математическая модель, неподвижная точка, управляющий параметр.

Предлагается новый подход решения проблем в области минимизации издержек, основанный на исследовании логистического отображения как в вещественной области, так и на множестве комплексных чисел. Исследуется зависимость логистического отображения от разных значений управляющего параметра.

A.V. Pukhkoy, E.Y. Kireicheva, T.F. Mamedova

MATHEMATICAL MODELING OF LOGISTICS
CENTERS

Keywords: logistic center, mapping, mathematical model, fixed point, control parameter.

A new approach to solving problems in the field of cost minimization is proposed, based on the investigation of the logistic mapping both in the real domain and on the set of complex numbers. The dependence of the logistic map on different values of the control parameter is investigated.

Э.Д. Сурсяков, Д.Е. Злобин, А.В. Ромодин

МОДУЛЬ РАСЧЕТА УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В
СИСТЕМЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ТРЕНАЖЕРА

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, нефтяное месторождение, система электроснабжения, алгоритм.

Представлена концепция подсистемы управления аварийными режимами систем электроснабжения (СЭС) нефтяных месторождений. Разработка алгоритмов управления ведется на основе матрично-топологического аппарата. Подсистема предназначена для решения инженерных задач, принятия решений, подготовки персонала.

E.D. Sursyakov, D.E. Zlobin, A.V. Romodin

CALCULATION MODULE OF RELAY PROTECTION
SETS IN THE UNITED TRAINER SYSTEM

Keywords: relay protection and automation, oil field, power supply system, algorithm.

The concept of a subsystem for managing emergency regimes of oil field power supply systems is presented. The development of control algorithms is based on a matrix topology approach. The subsystem is designed to solve engineering problems, make decisions, and train personnel.

А.П. Сябренко, В.С. Тынченко, О.А. Бочарова, Т.Г. Орешенко

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АТТЕСТАЦИИ СОТРУДНИКОВ
ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ КОХОНЕНА

Ключевые слова: аттестация, кластерный анализ, обработка данных, карты Кохонена.

В статье рассматривается возможность повышения качества процесса аттестации сотрудников предприятий для анализа соответствия занимаемой ими должности. В качестве решения предлагается использование самоорганизующихся карт Кохонена.

A.P. Syabrenko, V.S. Tynchenko, O.A. Bocharova, T.G. Oreshenko

ANALYSIS OF THE ENTERPRISES EMPLOYEES
ATTESTATION RESULTS BASED ON THE KOHONEN
MAPS

Keywords: certification, attestation, cluster analysis, data processing, Kohonen maps.

The article considers the possibility of improving the quality of the enterprises employees' attestation process to analyze the compliance of the position they occupy. As a solution, the use of Kohonen self-organizing maps is proposed.

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 регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№6 2018

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.06.2018 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

9,3 усл.печ.л. 10,7 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1398.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420021, Республика Татарстан, Казань,

ул. З.Султана, д.17а, оф. 19

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»