

# **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ**

**№5 2019**

**Направления:**

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ  
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

**Казань  
2019**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №5 2019г. – Казань:  
ООО «Научно-технический вестник Поволжья», 2019. – 152 с.

**ISSN 2079-5920**

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

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.ntvp.ru](http://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, 2019 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

**05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

<i>Д.Н. Ахунов</i> ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ	9
<i>И.В. Бадыков, И.Ю. Мышкина, Л.Ю. Грудцына</i> РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ TENSORFLOW	12
<i>С.Н. Буликов, В.С. Пашичев</i> ИНСТРУМЕНТ КОМПЬЮТЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ	15
<i>Т.В. Зайцева, Н.П. Путивцева, О.П. Пусная, Г.А. Кривошапова, А.А. Яркина, В.Н. Пономарева, Е.А. Пронина</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССОВ МЕТОДОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ	18
<i>Г.Е. Кокиева, А.В. Базан</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ОБСТАНОВКИ И ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ДТП	21
<i>Г.Е. Кокиева, Т.И. Васильева, И.А. Савватеева</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ФУНКЦИЮ УЧЁТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ	24
<i>Г.Е. Кокиева, Ю.Ж. Дондоков, Н.И. Кондакова, С.В. Хамарова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ	27
<i>Г.Е. Кокиева, А.С. Филатов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДАННЫЕ АППАРАТА ДЛЯ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА	30
<i>Г.Е. Кокиева, А.Г. Черкашина, Т.И. Афанасьева</i> ПРОИЗВОДСТВО МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ КОРМОВОГО БЕЛКА	33
<i>Ю.Н. Кондрашов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	37
<i>В.В. Кукарцев, А.А. Павленко</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	41
<i>А.В. Ломазов, В.И. Ломазова, В.В. Ломакин, Р.Г. Асадуллаев</i> ОЦЕНКА УДОБСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНКЕТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	45
<i>Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, О.В. Бестужева, О.П. Пусная, И.В. Гурьянова, Ш.А. Халилов</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ ШИФРОВАНИЯ ФАЙЛОВ И ПАПОК	50
<i>Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, Т.А. Лысакова, О.П. Пусная, Л.А. Губкина, В.В. Щеткина</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА АНТИВИРУСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	54

**05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

<i>А.П. Буйносов, Е.В. Федоров, К.Н. Яковлев, А.В. Хваловский</i> РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	58
--	----

<i>А.Н. Глубокая, В.В. Бухтояров</i> УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ РЕГУЛЯТОРОВ	61
<i>В.А. Егоров</i> ТИПОВАЯ НАСТРОЙКА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	64
<i>Е.В. Зубков, Д.М. Корнилов, А.С. Орда, В.С. Салин</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИМИТАЦИЕЙ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВОЖДЕНИЯ В СРЕДЕ SIMINTES	67
<i>Т.Г. Орешенко, О.А. Бочарова, А.С. Свиридова, В.С. Тынченко, А.Н. Бочаров</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ НАГРЕВЕ	70
<i>А.Х. Санакулов, И.Р. Ахметзянов, К.З. Фатыхов</i> УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УДАЛЕНИЕМ ЛЬДА С ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110КВ	74
<i>В.А. Соловьев, Н.Е. Дерюжкова, Чжо Аунг Хтет, В.В. Тетерин</i> НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТЕРЖНЕВОЙ УСТАНОВКИ	77
<i>Ш.Ш. Хузяттов, Р.А. Валиев, Л.Б. Хузятова</i> АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КОНФИГУРИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	81

#### **05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

<i>М.В. Беленко, Н.С. Бурым, П.В. Балакишин</i> СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ	84
<i>Д.В. Горбачев, О.Ю. Кузнецов, О.А. Ямников</i> ДИСКРЕТНО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ ПАЦИЕНТА	89

#### **05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

<i>Т.С. Алероев, С.В. Ерохин, О.О. Рошка</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА	93
<i>А.Е. Гилёва</i> ВОЛНОВАЯ И ОБОЛОЧЕЧНАЯ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ СОУДАРЕНИИ С ПОРАЖАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ	97
<i>А.Е. Гилёва</i> ЧИСЛЕННАЯ СХЕМА ВОЛНОВОЙ И ОБОЛОЧЕЧНОЙ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНОГО МАТЕРИАЛА С ПОРАЖАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ	100
<i>Ю.Г. Егорова</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ	103
<i>И.Х. Еникеев</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛА ЛЕБЕГА ПРИ РЕШЕНИИ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ	107
<i>С.С. Логинова, А.В. Дунцев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	111
<i>Г.М. Мучкаева, И.С. Мантышев, Ф.Б. Мукарамов, М.С. Насредин, Ф.А. Тургунов, А.Ж. Садыкова, Г.А. Пайзыева</i> МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АГРОЦЕНОЗОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСНОГО СНАБЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	114
<i>Н.Г. Очиров, Е.А. Ельникова, Г.М. Мучкаева</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МТА И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ MATHCAD	117

Н.Г. Очиров, Е.А. Ельникова, Г.М. Мучкаева	МОДЕЛИРОВАНИЕ	
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МТА В СРЕДЕ MATCAD		121
Е.А. Петрови́чева, И.М. Ильина	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРБУЛИЗАЦИИ	
ПОТОКА В ТРУБЧАТЫХ АППАРАТАХ		125
С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, М. Нурышева, А.В. Свердлов	МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ R236ea НА ОСНОВЕ ПРАВИЛА	
СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА [3β]		128
Н.Н. Симченко	ФОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАРИАТИВНОЙ ЧАСТИ	
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С		
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ		132

**05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ  
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Ю.Д. Фот, Н.П. Мошуров, И.А. Щудро	АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНО-	
МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПРИ АУДИТЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ		
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО		
КОМПЛЕКСА		135
<b>АННОТАЦИИ</b>		141

**THE RELEASE MAINTENANCE****05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING**

<i>D.N. Akhunov</i> USE OF PETRI NETS IN THE GRANULAR MATERIALS MANUFACTURING	9
<i>I.V. Badykov, I.Yu. Myshkina, L.Yu. Grudtsyna</i> RECOGNITION OF HUMAN STATES WITH THE USE OF TENSORFLOW MACHINE TRAINING LIBRARY	12
<i>S.N. Bulikov, V.S. Pashichev</i> TOOL FOR COMPUTER CODING CONSTRUCTION AND INSTALLATION WORKS	15
<i>T.V. Zaitseva, N.P. Putivtseva, O.P. Pusnaya, G.A. Krivoschapova, A.A. Yarkina, V.N. Ponomareva, E.A. Pronina</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSES OF PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGIES	18
<i>G.E. Kokieva, A.V. Bazan</i> THE USE OF COMMUNICATION TECHNOLOGIES TO FIX THE ENVIRONMENT AND OBJECTS IN SPACE IN CASE OF AN ACCIDENT	21
<i>G.E. Kokieva, T.I. Vasilyeva, I.A. Savvateeva</i> DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS FOR MOBILE DEVICES THAT ALLOWS YOU TO AUTOMATE THE ACCOUNTING FUNCTION ACTIVITIES IN THE ENTERPRISE	24
<i>G.E. Kokieva, Z.Y. Dondokov, N.I. Kondakova, S.V. Hamarova</i> THE STUDY OF POST-HARVEST PROCESSING OF GRAIN IN THE CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA	27
<i>G.E. Kokieva, A.S. Filatov</i> THE STUDY OF HYDRODYNAMIC PARAMETERS DESCRIBING THE DETAILS OF THE APPARATUS FOR MICROBIAL SYNTHESIS	30
<i>G.E. Kokieva, A.G. Cherkashina, T.I. Afanasyeva</i> THE INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS FOR OBTAINING FODDER PROTEIN	33
<i>Y.N. Kondrashov</i> USE OF ANALYTICAL TECHNOLOGIES IN THE SYSTEMS OF SUPPORTING DECISION-MAKING AT THE STAGES OF THE LIFE CYCLE OF AEROSPACE PRODUCTS	37
<i>V.V. Kukartsev, A.A. Pavlenko</i> SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS OF A GLOBAL OPTIMIZATION NONPARAMETRIC ALGORITHM	41
<i>A.V. Lomazov, V.I. Lomazova, V.V. Lomakin, R.G. Asadullaev</i> ESTIMATION OF USABILITY OF THE CORPORATE APPLICATIONS INTEGRATED DEVELOPMENT PLATFORM BASED ON THE RESULTS OF USERS' QUESTIONNAIRE SURVEYS	45
<i>N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, O.V. Bestuzheva, O.P. Pusnaya, I.V. Gurjanova, Sh.A. Khalilov</i> THE USE OF FORMALISED METHODS FOR COMPARISON OF PROGRAMS TO ENCRYPT FILES AND FOLDERS	50
<i>N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, T.A. Lysakova., O.P. Pusnaya., L.A. Gubkina, V.V. Shchetkina</i> APPLICATION OF A FORMALIZED METHODOLOGY TO SOLVE THE PROBLEM OF ANTI-VIRUS SOFTWARE SELECTION	54

**05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION**

<i>A.P. Buinosov, E.V. Fedorov, K.N. Yakovlev, A.V. Chvalovsky</i> DEVELOPMENT OF A WIRELESS ELECTRO-PNEUMATIC BRAKE OF RAILWAY ROLLING STOCK	58
<i>A.N. Glubokaya, V.V. Bukhtoyarov</i> CONTROL PROCESS OF OIL FRACTIONATION PROCESS USING PREDICTIVE CONTROLLERS	61
<i>V.A. Egorov</i> TYPICAL ADJUSTMENT FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM	64

<i>E.V. Zubkov, D.M. Kornilov, A.S. Orda, V.S. Salin</i> AUTOMATION OF PROCESS OF TESTS OF THE DIESEL ENGINE WITH IMITATION OF REAL CONDITIONS OF DRIVING IN THE ENVIRONMENT OF SIMINTECH	67
<i>T.G. Oreshenko, O.A. Bocharova, A.S. Sviridova, V.S. Tynchenko, A.N. Bocharov</i> MODELING OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN ELECTRON BEAM HEATING	70
<i>A.K. Sanakulov, I.R. Akhmetzyanov, K.Z. Fatykhov</i> AUTOMATIC CONTROL DEVICE REMOVING ICE FROM THE WIRES OF OVERHEAD LINES WITH VOLTAGE 110 KV	74
<i>V.A. Solovyov, N.E. Deryuzhkova, Kyaw Aung Htet, V.V. Teterin</i> FUZZY CONTROL IN THE REGULATING SYSTEM OF POSITIONAL ELECTRIC DRIVES OF THE ROD INSTALLATION	77
<i>Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev, L.B. Khuzyatova</i> AUTOMATED CONFIGURING THE SUPERVISOR CONTROL SYSTEM	81

#### **05.13.11 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES, TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

<i>M.V. Belenko, N.S. Burym, P.V. Balakshin</i> WAY TO AUTOMATE VARIOUS SPEECH RECOGNITION SYSTEMS TESTING AND ANALYSIS	84
<i>D.V. Gorbachev, O.U. Kuznetsov, O.A. Aymnikov</i> DISCRETE-STOCHASTIC MODEL FOR ANALYZING THE PATIENT'S STATE SPACE	89

#### **05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES**

<i>T.S. Aleroev, S.V. Erokhin, O.O. Roshka</i> MODELING OF FINANCIAL MARKETS USING FRACTAL ANALYSIS	93
<i>A.E. Gileva</i> WAVE AND SHELL DEFORMATION STAGES OF MULTILAYERED WOVEN MATERIAL UNDER PROJECTILE IMPACT	97
<i>A.E. Gileva</i> THE NUMERICAL SCHEME FOR WAVE AND SHELL DEFORMATION STAGE AT IMPACT MULTILAYERED WOVEN FABRIC WITH DAMAGING ELEMENT	100
<i>J.G. Egorova</i> MATHEMATICAL MODEL OF AUTOMATED BUILDING HEATING SYSTEM	103
<i>I.Kh. Enikeev</i> USING THE LEBESGUE INTEGRAL IN SOLVING SISTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS	107
<i>S.S. Loginova, A.V. Duncev</i> RESEARCH OF METHODS OF FORECASTING OF RADIATION RESISTANCE OF ELECTRONIC EQUIPMENT	111
<i>G.M. Muchkaeva, I.S. Mantashev, F.B. Mukaramov, M.S. Nasredinov, F.A. Turgunov, A.Zh. Sadykova, G.A. Paizieva</i> METHODS OF SETTING NUMERICAL EXPERIMENTS ON THE SIMULATION MODEL OF AGRICULTURE FOR THE DEVELOPMENT OF OPTIMAL PARAMETERS OF RESOURCE SUPPLY TECHNOLOGIES OF CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS	114
<i>N.G. Ochirov, E.A. Elnikova, G.M. Muchkaeva</i> MODELING THE PERMISSIBLE MODES OF OPERATION OF MTA AND ITS IMPLEMENTATION IN MATHCAD	117
<i>N.G. Ochirov, E.A. Elnikova, G.M. Muchkaeva</i> MODELING OF OPERATING PARAMETERS OF MTA IN MATHCAD	121
<i>E.A. Petrovicheva, I.M. Ilyina</i> A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TURBULENCE OF THE FLOW IN A TUBULAR APPARATUS	125
<i>S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, M. Nurysheva, A.V. Sverdlov</i> SIMULATION OF R236ea SATURATION LINE BASED ON THE MEDIUM DIAMETER RULE [3β]	128

<i>N.N. Simchenko</i> THE FORMATION OF THE CONTENT OF THE VARIABLE PART OF THE PROFESSIONAL EDUCATIONAL PROGRAMS WITH THE USE OF INTELLIGENT METHODS	132
--	-----

**05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY**

<i>Yu.D. Fot, N.P. Moshurov, I.A. Chudro</i> ALGORITHM OF APPLICATION OF NORMATIVE-METHODICAL BASE AT AUDIT OF THE AUTOMATED SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY OF FUEL AND ENERGY COMPLEX	135
---	-----

<b>ABSTRACTS</b>	141
------------------	-----



**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

**Д.Н. Ахунов**

Набережночелнинский государственный педагогический университет,  
факультет математики и информатики,  
кафедра математики, физики и методики обучения,  
Набережные Челны, dam-ahunovv@yandex.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В работе рассматривается совершенствование системы управления производством гранулированных материалов в рамках стратегии системного подхода. Предлагается алгоритм управления в системе реального времени, основанный на имитационной модели производства в виде временной сети Петри.*

Ключевые слова: математическая модель, системный подход, алгоритм управления, сети Петри.

При исследовании самых разнообразных производственных проблем, используется системный подход [1,2]. Под системным подходом понимают совокупность методологических средств, используемых для подготовки и принятия решений экономического, организационного или технического характера при управлении сложными системами.

Моделирование в системном анализе является центральной процедурой. Задача построения модели производственной системы заключается в определении множества ее состояний и закономерностей их смены [3].

Среди множества математических моделей, ориентированных на решение разнообразных задач моделирования, анализа и синтеза производственных систем, сети Петри являются наиболее удобным математическим аппаратом для моделирования сложных систем [4-7].

Рассмотрим реактор формирования гранулированных материалов, который представляет собой аппарат периодического действия вместимостью 500кг, имеющий один вход и два выхода на аппараты следующей стадии. Граф модели реактора, представим следующим описанием (см. рис.1).

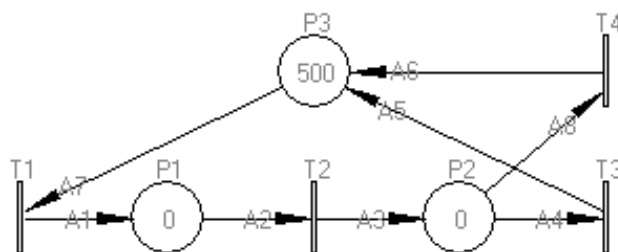


Рис.1. Модель реактора формирования.

Перед нами встает задача, как из N реакторов, в каждом из которых находится 500 кг полупродукта, выбрать n готовых, чтобы конечная партия продукта удовлетворяла требованиям ТУ без операции усреднения (мешки). Каждый из реакторов имеет свой нормальный закон распределения. Критерием выбора является закон распределения наиболее близкий к «эталонному».

Для подавления стохастического фактора предлагается следующий **алгоритм управления** в системе реального времени, основанный на имитационной модели производства в виде временной сети Петри:

ШАГ 1. Проверяются все выходные переходы реакторов  $T_i, (i = \overline{1, 24})$ , до тех пор, пока среди них не окажется  $n (n \leq 24)$  готовых перехода. Им соответствуют  $m, (m = n/2)$  готовых реакторов цеха. Во всех реакторах, соответствующих готовым переходам делается ситовый анализ и строится гистограмма распределения по размерам гранул продукта.

ШАГ 2. Сравниваются гистограммы  $m$  реакторов  $S_i, (i = \overline{1, m})$  с эталонной  $S^*$  по критерию  $\min_{1 \leq i < m} \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_i)^2}$ , где  $x_i \in S^*$  параметры эталонной гистограммы,  $x_{ij} \in S_i$  параметры гистограммы реактора. Выбираем реактор по заданному критерию. Запускаем переход  $T_i^*$  соответствующий этому реактору.

ШАГ 3. Полагаем вес частной партии  $P = 500$  с гистограммой распределения реактора  $R(T_i^*)$ .

ШАГ 4. Проверяем все выходные переходы реакторов  $T_i, (i = \overline{1, 24})$ , до тех пор, пока среди них не найдутся готовые переходы. Им соответствует множество номеров готовых реакторов  $E$ . Для всех реакторов с номером из множества  $E$  вычисляем гистограммы  $S_l, l \in E$ , получаемые при суммировании гистограмм распределения реакторов с гистограммой распределения частной партии:  $s_{lj} = \frac{1}{P + 500} (Ps_{pj} + 500x_{lj}), j = \overline{1, k} l \in E$ , где  $s_{pj}$  - параметры гистограммы распределения частной партии,  $x_{lj}$  - параметры распределения реактора  $R_l$ ,  $s_{lj}$  - параметры распределения гистограммы  $S_l$ .

ШАГ 5. Выбираем реактор  $R^*_l$  по критерию  $\min_{l \in E} \sqrt{\sum_{j=1}^k (s_{lj} - x_i)^2}$  и запускаем соответствующий ему переход  $T_i^*$ .

ШАГ 6. Полагаем  $P = P + 500$ , и определяем гистограмму частной партии  $S_p$  по формуле  $s_{pj} = \frac{1}{P + 500} (Px_{pj} + 500x_{lj}), j = \overline{1, k} l \in E$ .

ШАГ 7. Если  $P < 5000$  то переходим на ШАГ 4.

ШАГ 8. Определяем пропорции, в которых надо добавить узкие фракции полупродукта, чтобы выполнялось условие  $S_p = S^*$ .

ШАГ 9. Останов алгоритма.

Данный алгоритм был реализован в комплексе программ (КП) QualitySG (Quality of Sphere granule – качество сферических гранул), разработанный в среде визуального программирования Delphi6.0 с учетом возможности динамического перехода на разные марки продукта (см. рис.2).

На верхней панели окна расположены графики гистограмм на выходе реакторов (красным цветом), гистограмма распределения частной партии серого продукта массой до 5000 кг (зелёным цветом), и эталонная гистограмма распределения (синий цвет). Под графиком расположены индикаторы наполнения и разгрузки смесителей серого продукта ёмкостью 5000 кг. Зелёным цветом представляется наполнение емкостей, синим – разгрузка после добавления узких фракций. Под графиком распределения частной партии расположен индикатор заполнения частной партии серого продукта и системное время функционирования сети. Под графиком эталонной гистограммы распределения показана масса полученного готового продукта в кг.

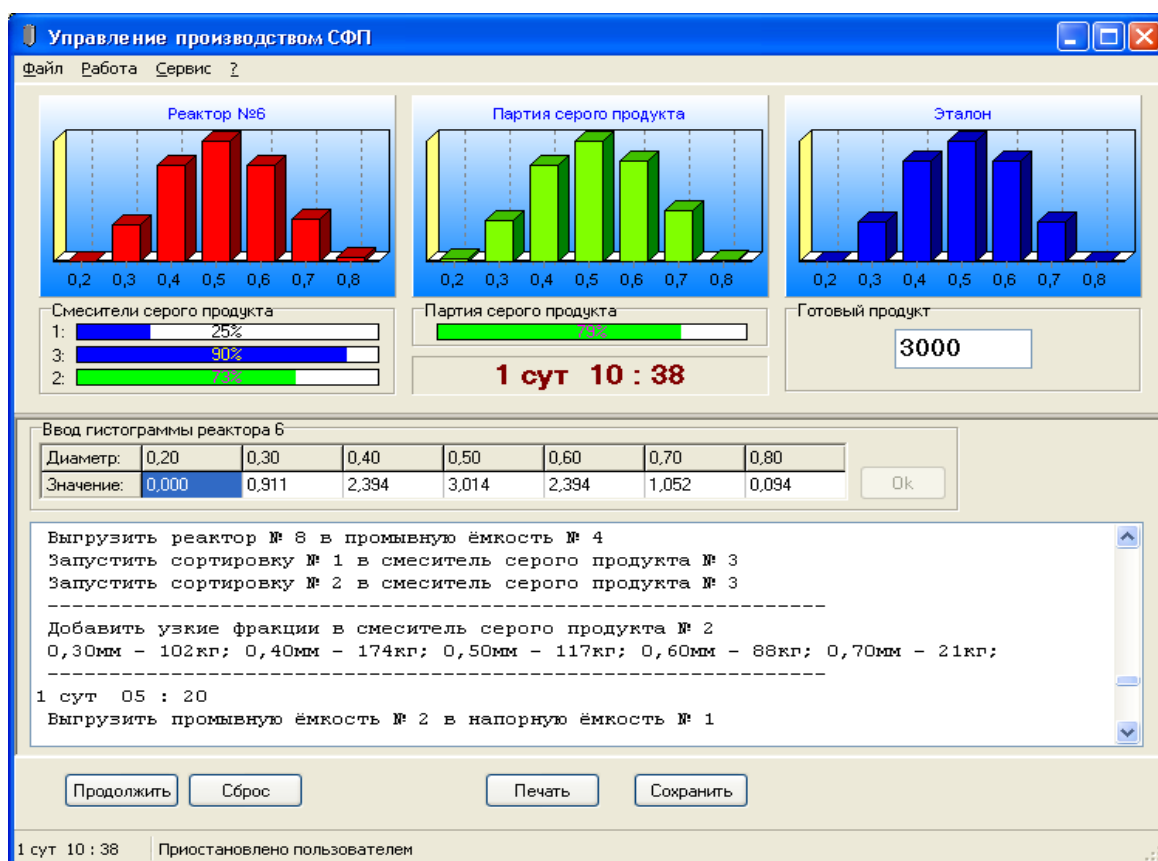


Рис.2. Общий вид программы.

На панели в середине окна расположена таблица для ввода значений гистограммы на выходе реакторов и текстовое окно с выводом директив управления производством. Здесь представлена ситуация когда программа запрашивает добавление узких фракций в смеситель серого продукта.

Если программа работает в не демонстрационном режиме, то при готовности какого-либо реактора к выгрузке, программа приостанавливается, и буде ждать ввода оператором гистограммы распределения реактора.

Сеть Петри для моделирования работы цеха получена с помощью программы PNModel v1.1. Программа считывает и распознает полученное с помощью данной программы аналитическое описание сети из файла.

Предложенный алгоритм позволяет существенно снизить трудоемкость фазы смешивания и улучшить физико-химические свойства гранул по всему объему крупнотоннажной партии.

### Список литературы

1. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности. // Химия. – 1990.
2. Горбатов В.А., Кафаров В.В., Павлов П.Г. Логическое управление технологическими процессами. // Энергия. – 1978. – С. 272.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Изд. 2-е, // Наука. – 1978. – С. 400.
4. Котов В.С. Сети Петри. // Наука. – 1984. – С. 160.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем тем: Пер.с англ. // Мир. – 1984. – С. 264.
6. Petri C.A. Kommunikation mit Automaten. // Bonn: Institut fur Instrumentalle Mathematik, Schriften des N3, 1962. Also, English translation, "Communication with Automats". New York: Griffiss Air Force Base. Tech.rep. RADCTR-65-377, vol. 1, suppl. 1. - 1966.
7. Ахунов Д.Н., Карпова М.Н. Использование сетей Петри при моделировании процессов производства. // Итоговая научная конференция: сборник докладов / под ред. д-ра техн. наук Л.А. Симоновой. – Набережные Челны. – 2017. – С. 268-273.

05.13.01

<sup>1</sup>И.В. Бадыков, <sup>2</sup>И.Ю. Мышкина канд. техн. наук, <sup>2</sup>Л.Ю. Грудцына<sup>1</sup>Набережночелнинский филиал ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)»,<sup>2</sup>Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра системного анализа и информатики,  
Набережные Челны, ilnarb98@mail.ru, mirinau@mail.ru, larisa\_u\_g@mail.ru

## **РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ TENSORFLOW**

*В статье исследуется возможность применения библиотеки машинного обучения TensorFlow для распознавания состояний человека по фотографии. Рассматриваются состояния бодрствования, засыпания и сна. Решаемая в рамках статьи задача является частной задачей, возникающей при разработке систем слежения за состоянием водителя для предупреждения возникновения опасных ситуаций на дорогах.*

Ключевые слова: *нейронные сети, глубокое обучение, распознавание образов, состояние водителя.*

Невозможно представить современную жизнь людей без эффективной работы транспортной системы, в том числе магистрального грузового транспорта и транспорта, осуществляющего междугородние пассажирские перевозки. Необходимость отслеживания и обработки большого объема информации, поступающей от систем автомобиля и окружающей среды, актуализирует задачи автоматизации управления автомобилем в целом. Одной из особенностей управления в автомобилях является то, что автомобиль функционирует только совместно с человеком [1]. Важной частью систем управления в автомобилях является задача контроля состояния водителя, который должен проводиться непосредственно в процессе движения с целью определения или предсказания состояний водителя [1], которые могут привести к возникновению опасных ситуаций на дорогах. Одним из таких состояний является засыпание водителя во время движения, что особенно часто возникает при длительных рейсах и усугубляется плохим физическим состоянием человека. Для отслеживания в процессе движения соответствующих состояний человека целесообразно применение методов распознавания образов. Распознавание образов использует методы машинного обучения. Одним из инструментов, используемых для решения подобных задач, являются искусственные нейронные сети.

В данной работе исследуется возможность применения нейронных сетей для распознавания состояний бодрствования, засыпания и сна по фотографии.

Для распознавания состояний человека использовалась программная библиотека для машинного обучения TensorFlow на языке Python, реализующая методы глубокого обучения нейронных сетей.

Python является универсальным высокоуровневым, интерпретируемым и объектно-ориентированным языком программирования [2]. Python широко используется в сфере машинного обучения, которое представляет собой класс методов искусственного интеллекта для анализа данных.

TensorFlow – открытая программная библиотека для машинного обучения, разработанная компанией Google для решения задач построения и тренировки нейронной сети с целью распознавания и классификации образов [3]. В данной работе применяется модель сверточной нейронной сети InceptionV3.

Перед обучением нейронной сети осуществлялась предварительная обработка фотографий из обучающей выборки с целью обнаружения на изображении лица человека с помощью средств библиотеки OpenCV. Примеры изображений приведены на рисунке 1.



Рис.1 – Примеры изображений лиц, разбитых по состояниям человека  
Фрагмент программного кода для обнаружения лица на фотографии:

```
# Подключение библиотеки OpenCV
import cv2
# Объявим переменную по стандартному каскаду от OpenCV по обнаружению лиц
cascPath = "haarcascade_frontalface_default.xml"
# Создание каскада
faceCascade = cv2.CascadeClassifier(cascPath)
# Чтение фотографии
image = cv2.imread(file_name)
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Обнаружение лиц на фотографии
faces = faceCascade.detectMultiScale(
    gray,
    scaleFactor=1.1,
    minNeighbors=5,
    minSize=(30, 30)
)
```

Далее, используя полученные координаты лица, осуществляется обрезка и сохранение изображения:

```
#функция обрезки изображения по параметрам
def crop(image_path, coords, saved_location):
    image_obj = Image.open(image_path)
    cropped_image = image_obj.crop(coords)
    cropped_image.save(saved_location)
#проходимся по найденным лицам
for (x, y, w, h) in faces:
    old_file_name = file_name
    arr_filename = file_name.split('/')
    arr_filename[len(arr_filename)-1] = 'crop_' + arr_filename[len(arr_filename)-1]
    file_name = '/'.join(arr_filename)
    #обрезка изображения с сохранением
    crop(old_file_name, (x, y, x+w, y+h), file_name)
```

После описанных действий обрезанная картинка передается в функцию по распознаванию состояния человека, а именно в функцию *read\_tensor\_from\_image\_file*, в качестве аргумента.

Для тренировки сети используется скрипт *retrain.py* [4]. В скрипте *retrain.py* параметр *--tfhub-module* указывает на тип используемой нейронной сети, по умолчанию – это InceptionV3. Параметр *--image\_dir* отвечает за указание пути к папке, содержащей изображения для тренировки сети.

Для запуска обучения используется команда [4]:

```
python3 retrain.py --image_dir=to_train
```

После обучения сети запуск распознавателя будет выполняться следующим образом (используется скрипт *label\_image.py*):

```
python3 label_image.py \
--graph=/home/Projects/tensorflow-hub/train_data/output_graph.pb \
--labels=/home/Projects/tensorflow-hub/train_data/output_labels.txt \
--input_layer=Placeholder \
--output_layer=final_result \
--image=$HOME/Projects/data/to_search/not_sleeping.jpg
```

В данном случае распознается изображение *not\_sleeping.jpg*. Пример ответа сети при подаче на вход трех тестовых картинок и соответствующие результаты распознавания представлены на рисунке 2. По всей тестовой выборке изображения лиц распознаны правильно, процент правильно распознанных состояний составил 86. Соответствующие проценты по отдельным состояниям: «not sleeping» = 93, «sleeping» = 70, «sleepy» = 95. Для повышения точности распознавания следует увеличить объем обучающей выборки.



Рис.2 – Результаты распознавания

В рамках дальнейших исследований предполагается применение когнитивных карт [5] для решения задачи прогнозирования состояния водителя на основе фиксации изменений психологических, физиологических и поведенческих показателей.

### Список литературы

1. Асанов А.З., Валеев Д.Х., Савинков А.С. Интеграция и интеллектуализация бортовых систем управления большегрузными автомобилями // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. XIV междунар. конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2012. – С. 524-531.
2. Python– что это? Высокоуровневый язык программирования [Электронный ресурс] – URL: <http://fb.ru/article/249380/python---chto-eto-vyisokourovnevyiy-yazyik-programmirovaniya> (дата обращения: 27.01.2019).
3. Кадури А., Архангельская Е., Николенко С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. – СПб: Питер, 2018. – 480 с.
4. Sagar Sharma Train Inception with Custom Images on CPU [Электронный ресурс] – URL: <https://towardsdatascience.com/training-inception-with-tensorflow-on-custom-images-using-cpu-8ecd91595f26> (дата обращения: 02.01.2019).
5. Asanov A.Z., Myshkina I.Yu., Grudtsyna L.Yu. Evaluation and Selection of Personnel Based on Clear and Fuzzy Cognitive Models // International Journal of Soft Computing, 2015. – Volume 10: Issue 6. – P. 448-453.

05.13.01

**С.Н. Буликов д-р экон. наук, В.С. Пашичев**

Ярославский государственный технический университет,  
инженерно-экономический факультет,  
кафедры «Управление предприятием», «Информационные системы и технологии»,  
Ярославль, sbulikov@ya.ru, pasvitas1@gmail.com

### **ИНСТРУМЕНТ КОМПЬЮТЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ**

*В статье кратко обоснована необходимость компьютерного кодирования строительно-монтажных работ по предлагаемой схеме и представлен авторский инструмент такого кодирования.*

*Ключевые слова: адекватность плановых и фактических показателей строительства, технология блокчейн, унифицированное наименование и компьютерное кодирование частных строительных потоков, инструмент такого кодирования.*

Масштабы строительства, объемы его информационного обеспечения и сопровождения, особенности строительной продукции, организации строительного производства и отраслевого ценообразования требуют максимального соответствия плановых и фактических календарных, стоимостных и финансовых показателей отраслевых проектов. В текущих условиях развития информационного общества, перехода к цифровой экономике и банковскому финансированию строительных проектов с использованием эскроу-счетов [1], [2], [3], необходимым электронным гарантом криптографической достоверности соответствия плана и факта выступает технология блокчейн (ТБЧ). Только ТБЧ способна дать своим пользователям – участникам строительного проекта – майнерам полную уверенность в соответствии заданных (плановых) и отчетных (фактических) транзакций и показателей. Такая уверенность обусловлена инструментарием ТБЧ, т.е. хешированием, асимметричным и гибридным шифрованием, электронно-цифровой подписью (ЭЦП), меткой времени и меткой токена транзакций, а также тотальной проверкой транзакций эластичной сетью параллельных вычислительных систем - участников блокчейн строительного проекта.

Одной из целей данного исследования было выявление причин слабого внедрения ТБЧ в строительную отрасль российской экономики – табл.1.

Таблица 1 – Существующие барьеры отраслевому применению ТБЧ

Природа барьеров	Виды проявления	Возможные пути снижения
1	2	3
Информационные барьеры	Слабость организационно-технологической и финансовой подготовки производства	Унификация наименования и компьютерного кодирования производственных процессов
	Низкая обоснованность заданных (плановых, договорных) показателей	Целенаправленная модернизация отраслевой нормативной базы и ценообразования
	Перманентные корректировки, изменения, искажения заданных показателей на практике	Внедрение смарт-документации
Организационные барьеры	Линейно-функциональная организация объектных подрядных стройкомплексов (ОПСК)	Матричная (проектная) организация ОПСК



Продолжение таблицы 1.

1	2	3
Правовые барьеры	Нецелевое использование и мнимый дефицит ресурсов, в т.ч. финансовых	Банковское финансирование проектов. Эскроу-счета
	Обычное несоответствие плана и факта в отраслевых проектах	Институт фьючерсных сделок и смарт-контрактов
	Тотальные хищения и коррупция в управлении проектами	Отказ от базисно-индексного метода определения ценовых параметров строительства
	Низкая исполнительная дисциплина подрядчиков	Институт финансового поручительства участников проекта
Трудовые барьеры	Недостаточная компьютерная грамотность исполнителей	Образовательные программы и материальная база учебных заведений
Технические барьеры	Слабое программное обеспечение управления	Распространение отраслевых блокчейн

Проблема устранения представленных барьеров может быть разрешена только комплексно, силами соответствующего ряда заинтересованных организаций и специалистов, при поддержке властных структур.

В сферу научных интересов авторов входят информационные и организационные барьеры отраслевому применению ТБЧ. Очевидно, что повышение качества информационного обеспечения (проектно-сметная документация и договорная работа), а также информационного сопровождения (учет и отчетность – ф.ф КС-6, КС-6а, М-29 и М-19) строительного производства, занимают лидирующее место в решении проблемы соответствия плана и факта посредством применения ТБЧ в отрасли.

Предложенные в свое время а) схема унификации наименования и компьютерного кодирования производственных процессов; б) соответствующая модернизация отраслевой нормативной базы и строительного ценообразования; в) матричная (проектная) организация объектных подрядных стройкомплексов [4], [5] особенно актуальны в эпоху цифровой экономики и ТБЧ. Предлагаемая схема добавляет к частным признакам СМР-чп, имеющимся в отраслевой нормативной базе (информационные блоки IV-VI), необходимые организационные атрибуты этого частного стройпоточка: ПТС-ПО; бригада (звено) - исполнитель; ведущая машина/механизм или «профилирующий» материал (информационные блоки I-III) [5, с.133].

Наш опыт показывает, что сложность предлагаемого кодирования состоит в обеспечении уникальности 11-значного кода СМР-чп, при возникающей необходимости дублирования содержания информационных блоков I-VI. Поэтому следующей целью данного исследования было создание специального инструмента компьютерного кодирования СМР-чп, учитывающем эту сложность – в дальнейшем «ИКК». ИКК представляет собой информационную систему, состоящую из клиента и базы данных (сервера). Клиент представляет собой программное обеспечение для персонального компьютера. В базе данных хранятся все ранее занесенные коды. Процесс занесения кода в базу происходит следующим образом – пользователь запускает программу-клиент, ему показывается список всех ранее занесенных кодов. При нажатии на кнопку «Добавить» возникает форма заполнения ключа, состоящая из следующих полей: \*\*\*. При нажатии кнопки «Сохранить» значения из полей проверяются на правильность, к не полностью заполненным полям в начало добавляются цифра «0». После первичной обработки, все поля складываются в единый шифр, и программа проверяет наличие этого шифра в базе данных. Если такой шифр есть – программа не добавит шифр и попросит пользователя ввести другую комбинацию. Если такого шифра нет – программа добавит новый шифр и уведомит пользователя об успешном добавлении.



**Список литературы**

1. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. N 203 Государственная Стратегия развития информационного общества <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919>
2. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р Государственная программа "Цифровая экономика Российской Федерации» [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221756/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756/)
3. N 214-ФЗ от 30.12.2004 Об участии в долевом строительстве... [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51038/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51038/)
4. Буликов С.Н. Развитие механизмов кооперирования и кредитования в строительстве: Монография / С.Н.Буликов, М.В.Лысанова, В.Д.Сухов. Ярославль: ЯГТУ, 2011. 224 с.
5. Буликов С.Н. Унифицированное поточное представление производственного процесса в строительстве / С.Н.Буликов, М.В.Лысанова, В.Д. Сухов // Научно-технический вестник Поволжья № 1, 2013. с.131- 134. <http://ntvr.ru/archive-vypuskov> Выпуск №1 2013

05.13.01

**Т.В. Зайцева канд. техн. наук, Н.П. Путивцева канд. техн. наук, О.П. Пусная,  
Г.А. Кривошапова, А.А. Яркина, В.Н. Пономарева, Е.А. Пронина**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
институт инженерных и цифровых технологий,  
кафедра прикладной информатики и информационных технологий,  
Белгород, zaitseva@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru, 603447@bsu.edu.ru,  
65221@bsu.edu.ru, vponomareva@bsu.edu.ru, pronina@bsu.edu.ru

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССОВ МЕТОДОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

*В работе представлены результаты проведенного анализа литературных источников и ресурсов сети Интернет по вопросу обоснования выбора методологии управления проектами. Результатом исследования явилась разработанная процедура выбора наиболее подходящей методологии для конкретного проекта.*

Ключевые слова: *проект, управление проектами, методология.*

Особенности современного состояния экономики приводят к постоянному усложнению деятельности организаций. В условиях динамично развивающегося рынка товаров и услуг компаниям, для того чтобы повысить свою конкурентоспособность и гибкость, недостаточно выполнения простых и циклических действий, возникает необходимость в реализации быстрых и порой уникальных мероприятий. Повышение роли проведения такого рода мероприятий и их удельного количества привело к возникновению дисциплины, которая называется управление проектами [1].

Управление проектами – методология организации, планирования, руководства, координации трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов на протяжении проектного цикла, направленная на эффективное достижение его целей путем применения современных методов, техники и технологии управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта [2].

Основные положения тяжелых и гибких методологий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные положения тяжелых и гибких методологий

<b>ТЯЖЕЛОВЕСНЫЕ</b>	<b> ГИБКИЕ</b>
Ориентация на предсказуемые процессы разработки ПО с четко обозначенными целями	Осознание того, что процессы разработки ПО в принципе непредсказуемы
Распознавание ситуаций и применение готовых методов	Распознавание ситуаций и конструирование методов для работы в них
Планирование, в котором определяются этапы с объемом работ, ресурсами, сроками и уровнем качества работ	Соблюдение баланса между параметрами проекта: объем работ, ресурсы, сроки и уровень качества работ
Заказчик – внешний по отношению к проекту субъект, влияющий на разработку только через предоставление ресурсов и контроль результатов, в том числе по поэтапным срокам выполнения проекта	Заказчик (его представитель) — член команды разработчиков, наделенный правом влиять на разработку; его главной целью является отслеживание актуальности решаемых задач
Ролевое разделение труда работников проекта	Совместная деятельность сотрудников и обезличенная ответственность.
Дисциплина и подчинение	Самодисциплина и сотрудничество
Обезличенный процесс, исполнители которого определяются только по квалификационным требованиям	Процесс, максимально учитывающий личностные качества исполнителей

Существующие достоинства и недостатки данных методологий представлены в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Достоинства и недостатки тяжеловесных и гибких методологий

Методологии	Достоинства	Недостатки
Тяжеловесные	Процессы рассчитаны на среднюю квалификацию исполнителей. Большая специализация исполнителей Ниже требования к стабильности команды. Отсутствуют ограничения по объему и сложности выполняемых проектов.	Требуют существенной управленческой надстройки Более длительные стадии анализа и проектирования. Более формализованные коммуникации.
Гибкие	Меньше непроизводительных расходов, связанных с управлением проектом, рисками, изменениями, конфигурациями. Упрощенные стадии анализа и проектирования, основной упор на разработку функциональности, совмещение ролей. Неформальные коммуникации.	Эффективность сильно зависит от индивидуальных способностей, требуют более квалифицированной, универсальной и стабильной команды. Объем и сложность выполняемых проектов ограничены

Процесс оценки и выбора наиболее подходящей (лучшей) методологии управления проектами требует использования системного подхода, является довольно сложным и трудоемким, но правильно выбранная наиболее подходящая методология управления проектами оправдывает затраченные на ее выбор усилия.

Основной целью является достижение согласованности правильно подобранных стратегий и успешная реализация проектов. Каждая из существующих методологий управления проектами имеют как достоинства, так и недостатки, поэтому в зависимости от конкретных целей проекта, особенностей его организационной структуры можно применять несколько методологий. Отобрав наилучшие методологии, можно их адаптировать к меняющимся условиям проекта.

К организационному развитию, так же, как и к проектам, могут быть применены критерии оценки, представленные на рисунке.



Рис. – Внутренние и внешние критерии

Эти же критерии необходимо учитывать и при выборе методологии [3]. Указанные критерии могут быть разделены на внутренние и внешние путем разбиения каждой из категорий на подкатегории.

На одном из первых этапов определяют критерии оценки, после чего разрабатывается процедура выбора наилучшей методологии для конкретного проекта с учетом его особенностей:

- 1) определение движущих сил проекта путем выявления и ранжирования основных его целей и приоритетов, а также внутренних и внешних критериев проекта;
- 2) после определения движущих сил проекта, требований и целей – описание условий, влияющих на методологию;
- 3) выявление всех доступных/возможных методологий, которые в наибольшей степени подходят для проекта;
- 4) сравнение методологий применительно к конкретному проекту;
- 5) определение методологии, сулящей наилучшие результаты и наименьший риск;
- 6) налаживание обратной связи;
- 7) документирование и обоснование методологии;
- 8) реализация методологии;
- 9) мониторинг и внесение изменений по мере необходимости.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что выбор методологии для каждого проекта должен осуществляться с учетом специфики данного проекта и предыдущего опыта проведения проектной деятельности.

#### ***Список литературы***

1. Солянтэ А.Ю. Управление проектами в компании. Методология, технологии, практика. – М.: Синергия, 2012. – 816с.
2. Методология управления проектами [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://studme.org>.
3. Панкаж Джа. Управление проектами в области информационных технологий. – М.: Лори, 2013. – 240с.

05.13.01

**Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, А.В. Базан**

ФГБОУ ВО Якутская ГСХА,  
Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования  
«Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел РФ

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ОБСТАНОВКИ И ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ДТП**

*Осмотр места совершения дорожно-транспортного происшествия (ДТП) всегда создает неудобства для транспортного потока. Часто это вызывает «пробки», блокирует отдельные дорожные направления, развязки. В определенной степени это сказывается на общем ритме движения транспорта, безопасности и экономике. Для сохранения доказательственного значения цифровых изображений, полученных при осмотре места происшествия, можно предложить два способа, обеспечивающих полную достоверность информации. Прежде всего возможным вариантом является использование комплекта фотокамеры и принтера, позволяющего производить распечатку изображений сразу же после фотографирования. Такие комплекты компактны и уже не являются чем-то исключительным. Положительная сторона этого состоит в том, что понятые могут сразу же поставить подписи под фотографиями, что подтвердит достоверность снимка и снимет вопрос о возможности каких-то манипуляций с цифровым изображением. К тому же резко сокращается время изготовления фототаблицы, так как не надо ждать, когда специалист проявит пленку и изготовит снимки. Этот вариант не предполагает дополнительных процессуальных действий и может реально принести пользу, особенно по делам, где речь идет о возможности розыска "по горячим следам".*

*Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, движение транспорта, развязка, фиксация объектов, технология осмотра, транспортный поток, осмотр объекта, сохранение информации, фотографическая фиксация, фотоматериалы, формированию целостного объёмного изображения объекта.*

Развитие науки и техники порождает все новые методы фиксации окружающей обстановки. Их считают аналогами фотографирования, но принципы передачи и сохранения информации, на которые они опираются, часто не имеют ничего общего с традиционным способом использования фотопленки, что влияет на тактику осмотра и на доказательственное значение изображений. Научно-технические возможности, которые открывают новый уровень исследования обстоятельств преступления, определяют требования к количеству и качеству доказательственной информации, ее достоверности, относимости и допустимости. Неукоснительное следование уголовно-процессуальному закону требует строгого соблюдения соответствия доказательств указанным признакам. Любая фотографическая фиксация места происшествия связана с использованием технических средств — традиционной или цифровой фотоаппаратуры, применение которых регламентируется системой правовых норм. Правовая регламентация определяет общие основания использования криминалистической техники в борьбе с преступностью и порядок применения криминалистических средств и методов в процессе раскрытия и расследования преступлений. Основные требования, предъявляемые к научно-техническим методам и средствам, определяются Конституцией Российской Федерации, в частности, нормами, регламентирующими права и обязанности граждан, обеспечение гарантий соблюдения их свобод и законных интересов [1,3,5]. К этим нормам относят гарантии: - безопасности для окружающей среды, здоровья и жизни людей, в отношении которых их применяют; - научной обоснованности, гарантирующей получение достоверных и надежных результатов, не исключающих возможности их проверки путем повторения исследований; - этичности,

исключающей создание условий, способствующих оскорблению лица, унижению его чести и человеческого достоинства; защищенности получаемой информации от искажения (фальсификации); - надежности хранения; - возможности тиражирования. Таким образом, для того, чтобы результаты фотосъемки на месте ДТП приобрели свое правовое значение, сама технология съемки и ее результаты должны отвечать определенным требованиям [1,2,5]. В соответствии с современным уголовно-процессуальным законодательством фотоматериалы могут вступать в качестве доказательств по уголовному делу, являясь: вещественными доказательствами, приложениями протоколов следственных и судебных действий, а также иных документов. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) занимают лидирующее положение в перечне факторов, обуславливающих уровень травматизма и гибели людей, значительных материальных затрат в разного рода ситуациях, связанных с несчастными случаями. Тревожная статистика последних лет свидетельствует о постоянном росте количества ДТП и пострадавших в них людей [3-5]. Необходимо решить задачу оперативного (быстрого) осмотра и фиксации места ДТП с целью освобождения проезжей части дороги. По мнению специалистов, время для подобных действий сотрудниками ГАИБДД должно быть сокращено до 10 - 15 минут. Технология осмотра места дорожно-транспортного происшествия с определенной степенью условности можно разделить на два этапа. Первый, это фиксация объектов, транспортных средств и следов их движения на проезжей части дороги. Второй этап, это детальный осмотр отдельных объектов, включающих транспортные средства, потерпевших и т.д. Второй этап не связан с блокированием транспортного потока, - осмотр объектов может производиться после их эвакуации с проезжей части дороги. Как показывает анализ практики осмотра места дорожно-транспортного происшествия, основное время первого этапа расходуется на проведение измерений на проезжей части дороги. В зависимости от сложности ДТП и количества участвующих в нем транспортных средств (пешеходов) среднее количество измерений на проезжей части составляет от 12 до 26, на что уходит в среднем 25 - 40 минут. Это время может быть существенно сокращено, если для фиксации обстановки ДТП применять стерео- и моно-фотограмметрические методы фиксации обстановки места происшествия. Стереοфотограмметрия - отражает свойства зрения по формированию целостного объёмного изображения объекта на основе двух различных изображений, поступающих от правого и левого глаза одновременно. Этот эффект принято называть стереоскопическим изображением, позволяющим воспринимать пространственные формы наблюдаемых объектов в разных плоскостях зрения, что делает возможным измерять размеры этих объектов и расстояния между ними. Стереοфотограмметрические методы наиболее точные и используются в картографии, аэро- и космической фотосъемке. Развитие цифровой фото-, видеотехники и методов компьютерной обработки изображений позволило значительно усовершенствовать методы измерительной фотографии и автоматизировать процесс получения информации. Фотограмметрическая обработка заключается в нанесении на изображения места происшествия, выведенные на экран компьютера, отметок, обозначающие ситуационные точки, которые однозначно определяют положение того или иного объекта. Координаты ситуационных точек, а по сути, расположение объектов в пространстве рассчитываются автоматически. Расстояния между точками также автоматически наносятся на план места происшествия [Бондаренко]. Одним из способов фиксации при проведении осмотра места происшествия является использование графического описания. Графическим описанием считается указание признаков объектов путем их изображения на рисунках, схемах, планах или чертежах. Они служат наглядной иллюстрацией обстоятельств, описанных в протоколе, а иногда и дают возможность сократить их словесное описание. В некоторых случаях для большей наглядности можно составить два плана: общий (место происшествия с прилегающей местностью) и частный (план самого места происшествия). Например, если место происшествия охватывает несколько участков территории, находящихся на определенном расстоянии друг от друга (очаги возгорания и т.п.), то есть смысл в составлении общего плана.

На рис.1 приведена схема осмотра места совершения дорожно-транспортного происшествия [1]. К ситуационным точкам «привязываются» соответствующие условные обозначения объектов (например, схема автомобиля определённой марки), выполненные в нужном масштабе и хранящиеся в библиотеках программы. Обработанная графическая информация в виде паспорта съёмки, результатов измерений и плана в масштабе 1:200 распечатывается на принтере, и может быть отправлена по стандартной телефонной сети.

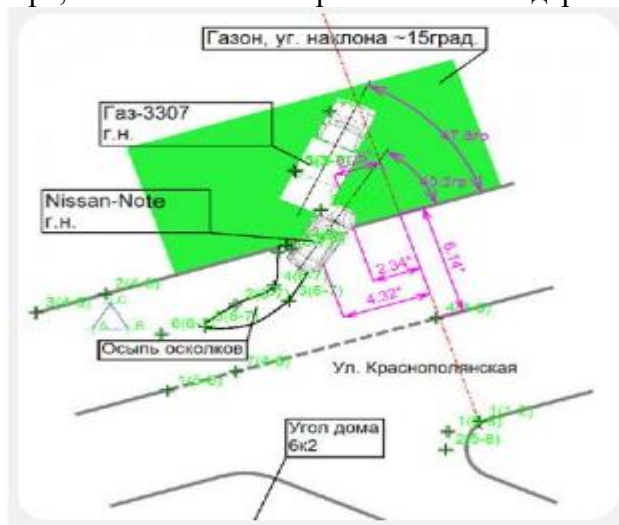


Рис.1. Схема осмотра места совершения дорожно-транспортного происшествия

Таким образом, применение методов тригонометрии, цифровой обработки изображений с помощью компьютерных технологий позволяет по измерительным фотоснимкам и даже обычным (если в кадре есть объект с известными стандартными линейными размерами) восстановить обстановку на месте происшествия, связанного с ДТП; тем самым повышая результативность осмотров мест происшествий, при сокращении времени его проведения.

## Список литературы

1. *Бондаренко, А.А.* Правовые и технико-криминалистические особенности применения фотограмметрических методов для фиксации обстановки места дорожно-транспортного происшествия: Автореф. дис. канд. юр. Наук. Волгоград., 2009.-25 с.
2. *Кучеренко, Г.П., Лобков, С.А., Любарский, М.Г.* Новый метод фиксации объектов вещественной обстановки дорожно-транспортного происшествия: Криминалистическое исследование вещественных доказательств // Применение научных методов при расследовании преступлений и изучении преступности: Криминалистическое исследование вещественных доказательств. Материалы Всесоюзной научной конференции. - М., 1974, Ч. 1: Вып. 2. - С. 124-128
3. *Рыжиков, С.Л.* Правовые и технико-криминалистические аспекты использовании средств объективного контроля за движением автомобиля в процессе совершения дорожно-транспортных происшествий.: Дис. канд. юр. Наук. Ростов-на-Дону., 2004.-216 с.
4. *Ткачев, С.Е.* Синхронная стереофотометрия как криминалистический метод фиксации объектов на месте происшествия // "Черные дыры" в Российском Законодательстве. Юридический журнал. - М.: "1К-Пресс", 2007, № 2. - С. 115
5. *Колотушкин, С.М., Ткачев, С.Е.* Синхронная стереофотометрия как криминалистический метод фиксации объектов и их взаиморасположения на месте происшествия // Актуальные проблемы трасологической и судебно-баллистической экспертиз. Материалы межвузовской научно-практической конференции. - Волгоград: ВА МВД России, 2006. - С. 180-182



05.13.01

Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, Т.И. Васильева, И.А. Савватеева

ФГБОУ ВО Якутская ГСХА

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ФУНКЦИЮ УЧЁТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Обычно программы разрабатываются в расчете на то, чтобы ими могли пользоваться люди, не участвующие в их разработке (их называют пользователями). Для освоения программы пользователем помимо ее текста требуется определенная дополнительная документация. Программа или логически связанная совокупность программ на носителях данных, снабженная программной документацией, называется программным средством (ПС). Программа позволяет осуществлять некоторую автоматическую обработку данных на компьютере. Программная документация позволяет понять, какие функции выполняет та или иная программа ПС, как подготовить исходные данные и запустить требуемую программу в процесс ее выполнения, а также: что означают получаемые результаты (или каков эффект выполнения этой программы). Кроме того, программная документация помогает разобраться в самой программе, что необходимо, например, при ее модификации.

Ключевые слова: разработка программного продукта, потребитель, продажа товаров, мобильная разработка, автоматизация функции учета, операционная система, приложение, стадия проектирования, компьютерная сеть, деятельность, фрагменты системы.

На сегодняшний день существует огромный выбор программных продуктов, позволяющих автоматизировать функцию учета деятельности на предприятии. Однако большая часть из них, ориентирована на широкий круг потребителей, что делает эти системы не пригодными для ведения учета на малых предприятиях. В частности, учет проданной продукции на малом предприятии занимающегося продажей товаров на мобильных торговых точках, имеет свои потребности в хранении и представлении данных.

Большинство решений по учету проданной продукции нацелено на крупные компании. Однако в современной России, велика доля индивидуальных предпринимателей. Для частных предпринимателей, очень важно уметь грамотно распорядиться своим временем, иметь под рукой инструменты контроля основных показателей как доходов, так и расходов, нужна ИС которая анализирует все эти факторы и выводит итоговый результат о том была ли деятельность продуктивной или же работа шла в убыток.

В связи с вышеизложенным, разработка приложения для мобильного устройства является актуальным. На рис.1 приведена наиболее популярные в России мобильные операционные системы.



Рис. 1. Наиболее популярные в России мобильные операционные системы



Объектом разработки является приложение, которое позволит собрать информацию о продаже товара с торговых точек, статистику, расчеты окупаемости точки [1,2,4-5]. Это позволит предпринимателю быстрее создавать отчеты и ориентироваться в необходимости покупки, увеличение ассортимента товара. Разработка модели предметной области предписывает построение иерархической системы диаграмм - единичных описаний фрагментов системы [3,6-8]. Сначала проводится описание системы и ее взаимодействия с окружающим миром (рис.2), после чего проводится функциональная декомпозиция - система разбивается на подсистемы и каждая подсистема описывается отдельно (рис.3). Затем каждая подсистема разбивается на более мелкие и так далее до достижения нужной степени подробности.

Вторым этапом является стадия проектирования, мы выбираем программные средства разработки. Далее готовим техническое задание, оно определяет требования к будущему мобильному информационному приложению для предпринимателей. Следующим этапом идет разработка логической модели (графическое представление структуры базы данных с учетом принимаемой модели данных, в данном случае - реляционной). На данном этапе проектирования необходимо выделить концептуальную модель, описывающую структуру данных, которыми будет оперировать автоматизированная информационная система. Для построения базы данных была выбрана реляционная модель данных.



Рис. 2. Общий процесс учета деятельности предприятия - IDEF0 диаграмма

Далее выстраиваем физическую модель, Цель физического проектирования – создание базовой функциональной схемы реляционной базы данных на основе логической модели данных. Физическая модель данных зависит от конкретной СУБД, фактически является отображением системного каталога. В физическом уровне модели содержится информация обо всех объектах базы данных.

#### Стадия реализации проекта

Разрабатываемый программный продукт будет клиент-серверным приложением. Клиент-серверное приложение - вычислительная или сетевая архитектура, в которой задания или сетевая нагрузка распределены между поставщиками услуг, называемыми серверами, и заказчиками услуг, называемыми клиентами. Физически клиент и сервер — это программное обеспечение [1-6,9]. Обычно они взаимодействуют через компьютерную сеть посредством сетевых протоколов и находятся на разных вычислительных машинах, но могут выполняться также и на одной машине.

На (рис.3) изображена диаграмма базы данных в среде MS SQL Server

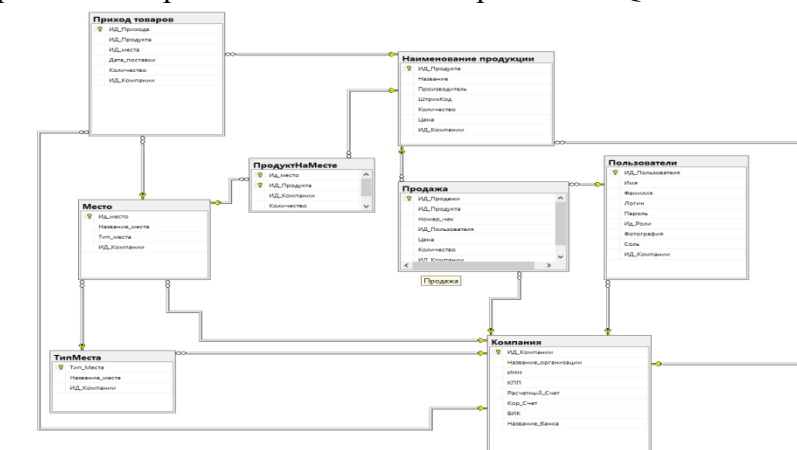


Рис. 3. Диаграмма базы данных MS SQL Server

Далее создается клиентская часть, основное меню для предпринимателя, меню регистрации нового пользователя, меню управления пользователями, меню управления пользователями с новым пользователем, меню добавления пользователя в компанию, меню добавления продукта, меню управления продуктами, меню управления точками, прихода продукции, окно кассира, добавление продажи, сама продажа.

Таким образом, происходит разработка программного продукта который выполняет информационную роль, обработку необходимых вычислений, упрощает процесс документооборота между продавцом администратором и предпринимателем. Также ПП позволяет осуществлять расчет заработной платы продавцам, учета, что в конечном итоге значительно упрощает работу по расчету персонала. Данный программный продукт удобен для собственного пользования, для дальнейшего развития в мобильной отрасли в категории приложения для предпринимателей с помощью добавления новых операций и дополнительных функций.

### Список литературы

1. *Александреску, А.* Язык программирования D / А. Александреску. — М.: Символ, 2013г. — 536 с.
2. *Александреску, А.* Язык программирования D / А. Александреску. — СПб.: Символ-плюс, 2014г. — 544 с.
3. *Ашарина, И.В.* Основы программирования на языках C и C++: Курс лекций для высших учебных заведений / И.В. Ашарина. — М.: Гор. линия-Телеком, 2012г. — 208 с.
4. *Баженова, И.Ю.* Языки программирования: Учебник для студентов учреждений высш. проф. образования / И.Ю. Баженова; Под ред. В.А. Сухомлин. — М.: ИЦ Академия, 2012г. — 368 с.
5. *Белоусова, С.Н.* Основные принципы и концепции программирования на языке VBA в Excel: Учебное пособие / С.Н. Белоусова, И.А. Бессонова. — М.: БИНОМ.ЛЗ, 2010г. — 200с.
6. *Бьянкуцци, Ф.* Пионеры программирования: Диалоги с создателями наиболее популярных языков программирования / Ф. Бьянкуцци, Ш. Уорден; Пер. с англ. С. Маккавеев. — СПб.: Символ-Плюс, 2011г. — 608 с.
7. *Бьянкуцци, Ф.* Пионеры программирования. Диалоги с создателями наиболее популярных языков программирования / Ф. Бьянкуцци, Ш. Уорден. — М.: Символ, 2011г. — 608 с.
8. *Головин, И.Г.* Языки и методы программирования: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / И.Г. Головин, И.А. Волкова. — М.: ИЦ Академия, 2012г. — 304 с.
9. *Довек, Ж.* Введение в теорию языков программирования / Ж. Довек, Ж.-Ж. Леви. — М.: ДМК, 2016г. — 134 с.

05.13.01

**Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, Ю.Ж. Дондоков канд. техн. наук,  
Н.И. Кондакова, С.В. Хамарова**

ФГБОУ ВО Якутская ГСХА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

*Ускорение темпов развития сельского хозяйства, превращение его в крупную высокомеханизированную отрасль выдвигают организационные вопросы на первый план в общей системе мероприятий, направленных на повышение эффективности общественного производства. Одним из главных направлений повышения качественных показателей зерна и семян, является совершенствование технологии их обработки путём использования приёмно-вентилирующих отделений для зернового вороха. Приведено краткое обоснование пути повышения эффективности функционирования процесса активного вентилирования, обеспечивающие сохранность материала при минимальных энергозатратах.*

**Ключевые слова:** сушка зерна, уборочные работы, сырое зерно, температура, равномерная сушка, длительное хранение зерна, зерновые сушиллки, зерновая культура, температурный режим, активное вентилирование.

Рост производства животноводческой продукции обеспечивается развитием и укреплением кормовой базы, улучшением качественного состава поголовья, совершенствованием хозяйственного механизма, планирования, финансирования, укреплением технологической дисциплины. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016-2020 годы будет основой для формирования в республике перспективных планов развития сельскохозяйственных организаций различных форм хозяйствования и собственности, будет предусматривать перевод сельскохозяйственного производства на инновационный путь с использованием достижений науки и передового опыта. Потребность животноводства в кормах диктует нам искать новые средства для улучшения кормовой базы. Уровень потерь зерна во многом зависит от совершенства технологии и технических средств для уборки и послеуборочной обработки урожая. Актуальной проблемой является эффективное использование в технологических процессах альтернативных источников энергии. Послеуборочная обработка зерна направлена на приведение убранной с полей зерновой массы, в стойкое для хранения состояние и подготовку его для последующей переработки. Она включает в себя следующие основные мероприятия: приёмку и формирование партий зерна, очистку от примесей, сушку, сортирование, активное вентилирование. Все эти операции должны выполняться при возможно минимальных затратах средств, и труда и в кратчайшие сроки с обеспечением сохранности зерна. Своевременная и качественная послеуборочная обработка зерна позволяет максимально сократить потери урожая, повысить качество зерна и семенного материала, а также обеспечить его длительное и безопасное хранение без дополнительных затрат. Так как одним из наиболее энергоёмких процессов в зернопроизводстве является сушка зерна, это- разработка и внедрение энергосберегающих технологий доведения его до кондиционного состояния, является важнейшей современной задачей. Сушка зерна необходима в случае его значительной сырости в период уборочных работ и для защиты от насекомых-вредителей. В первую очередь сушке подвергается самое сырое зерно с повышенной температурой. В случае с пшеничным зерном, первыми сушке подвергаются самые ценные сорта, затем – твердые. Процесс сушки зерна требует обязательного соблюдения предусмотренных технологий. Если сушка проходит в зерновых сушилках прямого действия, ответственно стоит подойти к образованию партий из

предварительно очищенных зерен одинаковой влажности. В свою очередь пересушивание зерновых культур ведет к измельчению зерен и увеличивает расход горючего. Существуют нормативы длительности сушки для зерновых культур [2-4].

Охлаждение зерна после сушки до оптимальной температуры способствует длительному надежному хранению. Каждая отдельная зерновая культура нуждается при сушке в собственном температурном режиме. Зерна пшеницы сушат при сменяющихся температурах, уделяя особое внимание качественным характеристикам клейковины. Слабая клейковина требует горячей сушки, прочная - умеренной. Разнотемпературный режим способствует надежному сохранению зерна и повышению его качественных характеристик. В частности, высокая температура клейковину укрепляет, умеренная – ведет к стагнации.

Послеуборочная обработка зерна направлена на приведение убранной с полей зерновой массы, в стойкое для хранения состояние и подготовку его для последующей переработки. Она включает в себя следующие основные мероприятия: приёмку и формирование партий зерна, очистку от примесей, сушку, сортирование, активное вентилирование. Все эти операции должны выполняться при возможно минимальных затратах средств, и труда и в кратчайшие сроки с обеспечением сохранности зерна. Своевременная и качественная послеуборочная обработка зерна позволяет максимально сократить потери урожая, повысить качество зерна и семенного материала, а также обеспечить его длительное и безопасное хранение без дополнительных затрат. Сушка зерна осуществляется в зерновых сушилках разного типа:

- колонковых;
- бункерных;

В настоящее время, зернопроизводящие хозяйства не в достаточной мере обеспечены комплексными техническими средствами для послеуборочной обработки и хранения семян и зерна. Слабая оснащённость хозяйств высокопродуктивными и производительными машинами послеуборочной обработки и средствами временной консервации (хранения) свежесобранного зернового вороха снижает темпы уборки, растягивает её сроки и увеличивает биологические потери урожая. На рис.1 приведена схема работы зерносушиллки.

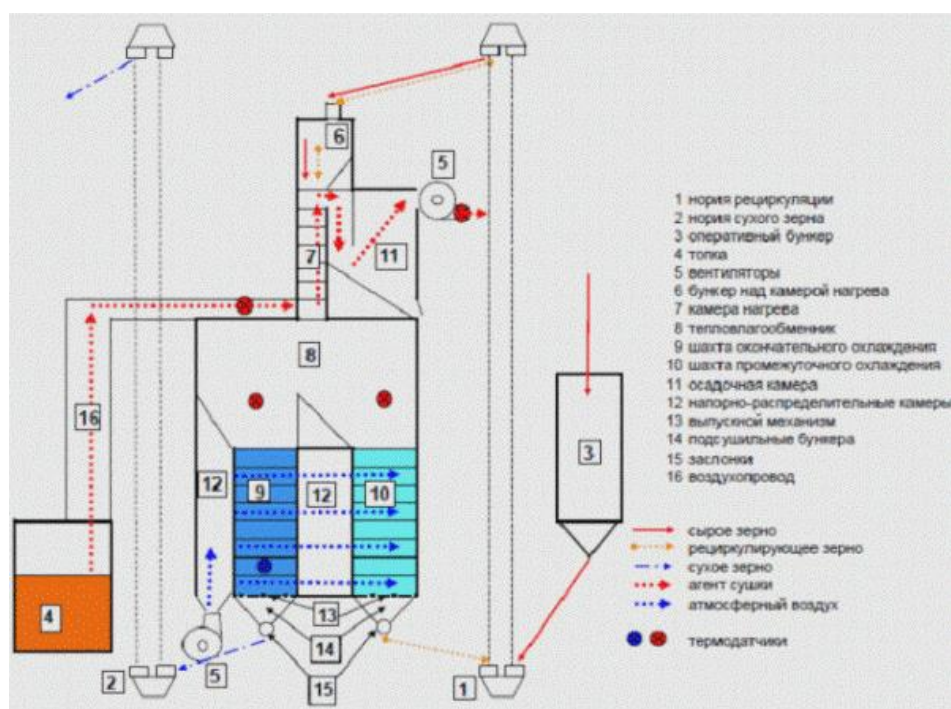


Рис. 1. Схема работы зерносушиллки

В последние годы возник разрыв между количеством поступающего зерна на ток и производительностью поточных линий для обработки зерна: последние выработали свой ресурс, а состояние ремонтной службы в хозяйствах не позволяет восстановить их паспортную производительность.

Решить эту проблему можно за счет оснащения хозяйств современными поточными линиями и частично – за счет модернизации существующих комплексов и агрегатов [1]. В связи с началом уборочной кампании проблема сохранности зерновой продукции приобретает особую остроту. Поэтому в увеличении производства зерна на территории Якутии важную роль может сыграть снижение его потерь при уборке и послеуборочной обработке урожая. Такой тщательный подход уменьшит время рабочего цикла с сохранением равномерной сушки, сэкономит ГСМ, обеспечит подходящий температурный режим, зависящий от характеристик зерновой культуры.

#### **Список литературы**

1. Кокиева, Г.Е., Павлова, А.И., Аммосов, И.Н., Соколов, Д.А., Сидоров, Г.Н., Слепцов, М.Р., Корякин, А.А., Васильев, А.Г. Процесс аэрирования в аэраторе колонкового типа./ Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 3. – С. 25-27.
2. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины: конструирование, расчет и проектирование. М.: Машиностроение, 1985. 169 с.
3. Кожуховский И.Е. Исследование плоских решет при больших загрузках. Тр.ВИМ. М.: 1960, Т.28. - С.40-50.
4. Кожуховский И.Е., Павловский Г.Т. Механизация очистки и сушки зерна. М.: Колос, 1968. - 440 с.

05.13.01

**Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, А.С. Филатов канд. с.-х. наук**

ФГБОУ ВО Якутская ГСХА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДАННЫЕ АППАРАТА ДЛЯ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА**

*Кормовой белок вырабатываются по сложной технологической цепочке, которая предусматривает биохимические, механические и тепловые изменения. В зависимости от протекания данных факторов нормальным считается выход кормовых дрожжей (в сухом весе) 40...50 % от используемых сахаров различного происхождения. Ключевым моментом в получении кормовых дрожжей является подвод аэрирующего газа. Одним из основных гидродинамических параметров, характеризующих данные ферментатора является газосодержание и массообмен в культуральной жидкости, скорость жидкой и газовой фаз, кратности и скорости циркуляции.*

*Ключевые слова: массообмен, аппарат, биореактор, массопередача, газосодержание, производительность, циркуляция, зона, микробиологические условия, непрерывный способ, аппарат, производительность, растворенный кислород, скорость, концентрация, единичная мощность, процесс, принцип газлифта.*

Большие успехи достигнуты в ходе экспериментальных исследований в области получения кормового белка в процессе микробного синтеза. Данное направление микробного синтеза получило название производства одноклеточного белка, так как большая часть микроорганизмов, которые используются для данных целей, растут не как сложные многоклеточные организмы (растения или животные). Кормовой белок (дрожжи) – это большая объединенная группа нескольких видов одноклеточных грибов из различных классов (сумчатых, базидиальных, несовершенных). Слово «дрожжи» имеет общий корень со словами «дрожь», «дрожать», которые раньше применялись при описании вспенивания жидкости, зачастую сопровождающего, брожение осуществляемое дрожжами.

В производствах БВК продуценты кормового белка являются аэробными микроорганизмами. Их выращивание в производственных ферментаторах обычно осуществляют непрерывным способом. Массообмен играет решающую роль в достижении заданной производительности аппарата, если соблюдаются технологические и микробиологические условия. Можно считать установленным тот факт, что микроорганизмы потребляют только растворенный кислород. Кислород является труднорастворимым газом. Потребление кислорода происходит со скоростью, не зависящей от концентрации растворенного кислорода до тех пор, пока остается выше критической. Влияние величины скорости растворения кислорода на процесс роста микроорганизмов не требуется. Оборудования единичной мощности являются в основном аппаратами интенсивного массообмена. На данное время существует множество работ, посвященных определению величины газосодержания, его взаимосвязи с физико-химическими свойствами среды и режимными параметрами посвящены работы многих исследователей. Основу конструирования аппаратов для культивирования микроорганизмов осуществляющих подвод кислорода составляет принцип газлифта. Кислород плохо растворяется в воде, и его концентрация в воде составляет 8,1 мг/л. Следовательно, для обеспечения процесса ферментации кислородом необходима непрерывный подвод кислорода в культуральную жидкость [1,5].

Применение в производстве барботажных ферментаторов имеет ряд своих преимуществ:

- возможность конструирования деталей в различных частях оборудования, в частности аэратора, осуществляющего подвод кислорода и поддержание температуры культивируемой среды, за счет возможности применения теплообменной аппаратуры в различных зонах аппарата для культивирования микроорганизмов;

- устройство механического перемешивания культуральной жидкости позволяет интенсивно производить перемешивание по всему объему полезного объема ферментатора, что в свою очередь увеличивает биомассу продукции кормового белка;

- защита оборудования от агрессивных сред;

- удобство вспомогательного оборудования;

На поверхности культуральной среды в процессе культивирования микроорганизмов образуется пена, диаметр пенного пузырька  $d_{\text{п}}$  определяется размером отверстия в барботере и физико-химическими свойствами культуральной жидкости [1-3]:

$$d_{\text{п}} = \sqrt[3]{\frac{6d_0\sigma}{q(p_{\text{ж}} - p_{\text{г}})}}, \quad (1)$$

где  $d$ —диаметр отверстия;  $\sigma$ —поверхностное натяжение;  $q$  — ускорение свободного падения;  $p_{\text{ж}}$ —плотность жидкости;  $p_{\text{г}}$ —плотность газа.

Тогда количество пузырьков:

$$n = \frac{6V_{\text{г}}}{\pi d_{\text{п}}^3}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{г}}$ —общий объемный расход воздуха при нормальных условиях .

Полученные значения  $n$  и  $d_{\text{п}}$  с учетом скорости подъема пузырьков дают возможность оценить газосодержащие зоне барботажа.

Работы по определению газосодержания и его связи с режимными параметрами и свойствами культуральной среды делают вывод о том, что наиболее общим на данный момент является уравнение:

$$\phi = \frac{W_{\text{г}}}{C(W_{\text{г}} + W_{\text{ж}}) + KU_{\text{п}}} \quad (3)$$

В аппаратах для культивирования микроорганизмов возникают пузырьковый, пенный, стержневой [1,5].

- Пузырьковый (с подводом кислорода) возникает при скоростях газа менее 0,05- 0,1 м.с<sup>-1</sup>. Здесь наблюдается примерно одинаковый размер пузырей, что способствует в свою очередь равномерное распределение частиц по всему объему аппарата для культивирования микроорганизмов;

- Пенный (гетерогенный, турбулентный), возникает при увеличенных значениях газа. В процессе культивирования микроорганизмов возникает увеличенное и масштабное пенообразование на поверхности культивируемой жидкости, поверхность контакта фаз при этом режиме достигает максимума. Образование пены в свою очередь снижают показатели производства кормового белка. Обычно пенообразование на поверхности культивируемой жидкости устраняют при помощи химических реагентов, что вносит отрицательный характер в питательные ценности кормового белка. На данный момент уже существуют механические методы по устранению данного недостатка путем реконструкции ферментаторов, а именно аппарата новой конструкции [4], в данном оборудовании имеется трехъярусное перемешивающее устройство, верхнее перемешивающее устройство предназначено для устранения и гашения пенообразования по всей поверхности культуральной жидкости.

Наиболее общепринятым считается уравнение [1,5]:

$$\phi = \frac{W_{\text{г}}}{C(W_{\text{г}} + W_{\text{ж}}) + KU_{\text{п}}}, \quad (4)$$

Где  $\phi_{\text{вс}}$ —газосодержание;  $W_{\text{ж}}$ —скорость жидкости;  $C$ —массовая концентрация кислорода в среде;  $K$ —коэффициент;  $U_{\text{п}}$ —скорость всплытия одиночного пузыря в неподвижной жидкости.

В зависимости от характера изменения сечения трубы изменяется теоретически рассчитанный коэффициент от 1 до 1,5. В работах [1,2,5] определить газосодержание предложено по формуле:

$$\phi = 0,833 \frac{W_{\text{г}}}{W_{\text{г}} + W_{\text{ж}}} \quad (5)$$

Являющемся частным случаем при  $K=0$  и  $C=1,2$ . По мнению автора [391] при изменении  $\frac{w_r}{w_r+w_{ж}}$  от 0,2 до 0,9 уравнение (4) справедливо для случая вертикальных труб любого диаметра.

Определенно наименьшей будет величина газосодержания, который мы можем рассчитать по формуле:

$$\varphi = 0,6 \frac{w_r}{w_r+w_{ж}}. \quad (6)$$

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что рациональное сочетание расчета и эксперимента позволяет расширить границы исследований, уменьшить объем экспериментов и значительно ускорить доводочные работы по созданию и совершенствованию перспективных конструкций ферментаторов.

#### **Список литературы**

1. Кокиева, Г.Е. Исследование аппарата для культивирования микроорганизмов / Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 123-125.
2. Кокиева, Г.Е. Исследование аппарата для культивирования микроорганизмов / Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 123-125.
3. Кокиева, Г.Е. Исследование зависимости роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 31-33.
4. Кокиева, Г.Е. Роль кислорода при моделировании аппарата для культивирования микроорганизмов / Г. Е. Кокиева, И. Б. Шагдыров, Ю. А. Шапошников // Ползуновский вестник. – 2016. – № 3. – С.151-155.
5. Кокиева, Г.Е. Состояние деформации деталей сложных технических систем / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 6. – С. 341-343.



05.13.01

Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, А.Г. Черкашина д-р с.-х. наук, Т.И. Афанасьева

ФГБОУ ВО Якутская ГСХА

**ПРОИЗВОДСТВО МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ КОРМОВОГО БЕЛКА**

*В настоящее время в Республике Саха (Якутия) накоплен уникальный опыт кормления сельскохозяйственных животных в экстремальных климатических условиях Севера. Адаптированы, разработаны и применяются различные технологии на вечной мерзлоте. Для агропромышленного производства остаются актуальными вопросы повышения обеспеченности кормами. Использование процесса микробного синтеза в производстве кормового белка дает чистый, экологический продукт. Это восполнит дефицит кормов в вскармливании сельскохозяйственных животных. Данный процесс даст сбалансированный, биологически чистый продукт.*

Ключевые слова: *микробная биомасса, добавка, микробный синтез, продуцент, скорость роста, штамм, технология получения кормового белка, развитие животноводства, сбалансированный продукт, биологическая ценность.*

Производство микробной биомассы - самое крупное микробиологическое производство. Микробная биомасса может быть хорошей белковой добавкой для домашних животных [5,6], птиц и рыб. Производство микробной биомассы особенно важно для стран, не культивирующих в больших масштабах сою (соевую муку используют как традиционную белковую добавку к кормам).

В последнее время в качестве продуцентов белка стали использовать бактерии, которые отличаются высокой скоростью роста и содержат в биомассе до 80% белка. Бактерии хорошо поддаются селекции, что позволяет получать высокопродуктивные штаммы. Их недостатками являются трудная осаждаемость, обусловленная малыми размерами клеток, значительная чувствительность к фаговым инфекциям и высокое содержание в биомассе нуклеиновых кислот. Последнее обстоятельство неблагоприятно только в том случае, если предусматривается пищевое использование продукта. Снижать содержание нуклеиновых кислот в биомассе, употребляемой на корм животным, нет необходимости, так как мочева кислота и ее соли, образующиеся при разрушении азотистых оснований, превращаются в организме животных в алантоин, который легко выделяется с мочой. У человека избыток солей мочево кислоты может способствовать развитию ряда заболеваний [1-4].

Следующую группу продуцентов белка составляют грибы. Они привлекают внимание исследователей благодаря способности утилизировать самое разнообразное по составу органическое сырье: мелассу, молочную сыворотку, сок растений и корнеплодов, лигнин и целлюлозосодержащие твердые отходы пищевой, деревообрабатывающей, гидролизной промышленности. Грибной мицелий богат белковыми веществами, которые по содержанию незаменимых аминокислот ближе всего к белкам сои. Вместе с тем белок грибов богат лизином, основной аминокислотой, недостающей в белке зерновых культур. Это позволяет на основе зерна и грибной биомассы составлять сбалансированные пищевые и кормовые смеси. Грибные белки имеют достаточно высокую биологическую ценность и хорошо усваиваются организмом. На рис.1 приведена технологическая схема производства кормовых дрожжей.

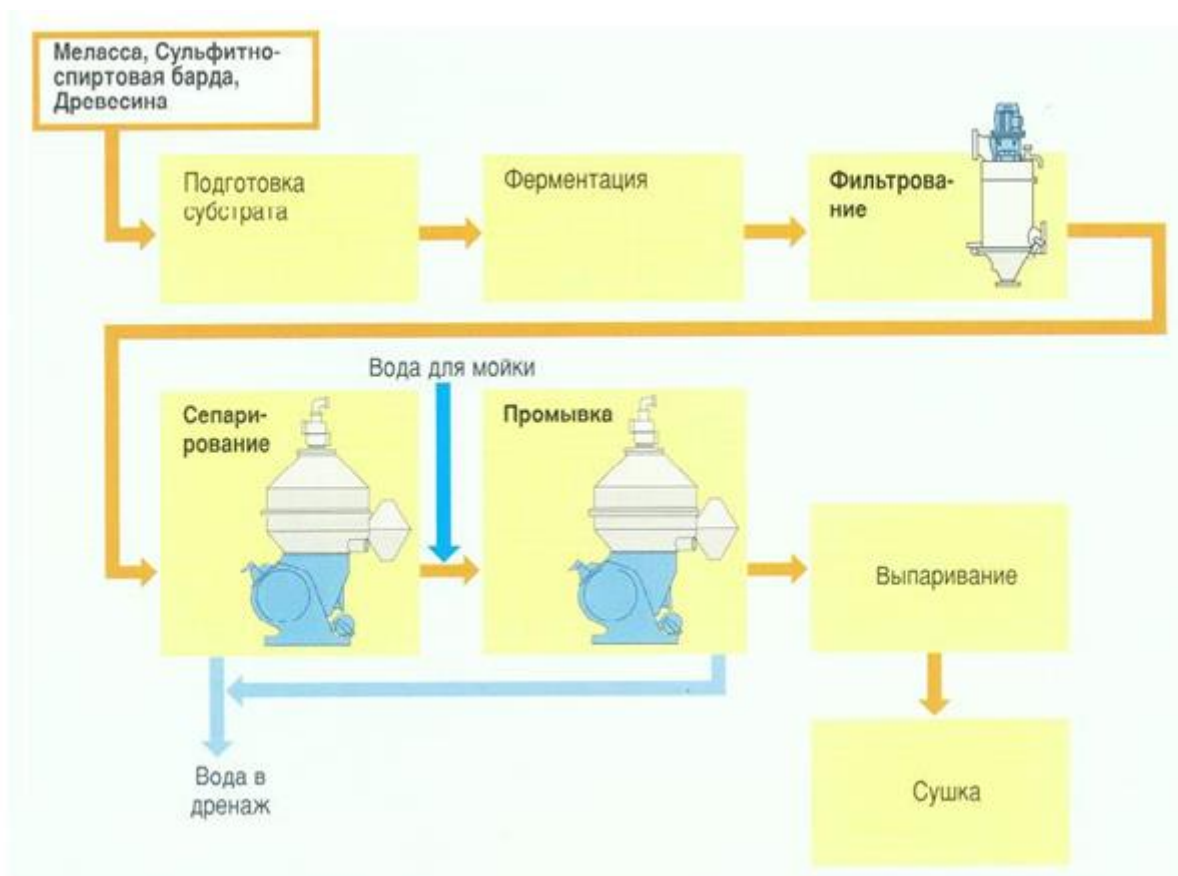


Рис. 1. Технологическая схема производства кормовых дрожжей

В структуре кормов животного происхождения доля рыбных кормов по протеину составляет 40%. Рацион обеспечен обменной энергией на 89%, переваримым протеином на 98%, жиром на 60%, углеводами на 118%. Обменной энергии в 1 порции меньше на 11 ккал; переваримого протеина – меньше на 0,11 г; жира – на 1,66 г; углеводов больше на 1,25 г [5]. Дефицит кормового белка сдерживает развитие животноводства. Биологическая ценность белка определяется содержанием в нём незаменимых аминокислот, не синтезируемых в организме животного (валин, лейцин, изолейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин). Недостаток какой-либо из аминокислот в кормах лимитирует усвояемость остальных, приводит к перерасходу кормов и должен компенсироваться концентрированными кормами. Среди зерновых и зернобобовых культур наиболее сбалансирован по содержанию незаменимых аминокислот белок зерна сои, риса и гороха. В белках зерна пшеницы и ячменя содержится мало лизина, метионина и изолейцина, а в белках зерна кукурузы – триптофана.

Процесс культивирования микроорганизмов сопровождается большим ростом популяции аэробных микроорганизмов в котором необходим подвод кислорода, под действием кислорода происходит окисление органических субстратов и обеспечение клеток необходимой для нее энергией.

Кислород плохо растворяется в воде, и его концентрация в воде составляет 8,1 мг/л. Следовательно, для обеспечения процесса ферментации кислородом необходима непрерывный подвод кислорода в культуральную жидкость[4].

Применение в производстве барботажных ферментаторов имеет ряд своих преимуществ:

- возможность конструирования деталей в различных частях оборудования, в частности аэратора, осуществляющего подвод кислорода и поддержание температуры культивируемой среды, за счет возможности применения теплообменной аппаратуры в различных зонах аппарата для культивирования микроорганизмов;

- устройство механического перемешивания культуральной жидкости позволяет интенсивно производить перемешивание по всему объему полезного объема ферментатора, что в свою очередь увеличивает биомассу продукции кормового белка;
- защита оборудования от агрессивных сред;
- удобство вспомогательного оборудования;

В процессе культивирования микроорганизмов происходит смачивание частиц водой, и в следствие оседание их на дно аппарата, несмачиваемые (гидрофобные) в свою очередь при контакте с воздушным пузырьком прилипают к нему и всплывают на поверхность культуральной жидкости. Аэрация культивируемой среды при ферментации необходима, поэтому наличие в аппаратах для культивирования микроорганизмов является необходимым дополнением. На данный момент в промышленности, где применяют микробный синтез действуют разнообразные по своей конструктивной особенности газлифтные аппараты для культивирования микроорганизмов. Проведено масштабное исследование в области гидродинамики и массообмена в аппаратах для культивирования микроорганизмов, в частности в производстве кормового белка, полученного микробным синтезом. Поэтому в настоящее время уделено немало времени вопросу гидродинамики и массообмену в ферментаторах различной структуры.

При подводе кислорода происходят два процесса: абсорбция кислорода ферментационной жидкостью из пузырьков воздуха и усвоение растворенного кислорода в жидкости.

Для жидкой фазы уравнение массоотдачи запишется в виде:

$$dM = \beta_{ж} (x_p - x) F d\tau \quad (1)$$

где:  $M$  - концентрация кислорода, кг;  $\beta_{ж}$  - коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, м/ч;  $x_p$  - равновесные концентрации кислорода, кг/м<sup>3</sup>;  $x$  - рабочая концентрация кислорода в жидкой фазе, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  - площадь поверхности массоотдачи, м<sup>2</sup>;  $\tau$  - продолжительность процесса, ч.

Так как площадь поверхности раздела фаз  $F$  в барботажных аппаратах неопределима, выразим:

$$F = V_p a \quad (2)$$

где:  $V_p$  - рабочий объем ферментатора, м<sup>3</sup>;  $a$  - удельная площадь поверхности массоотдачи, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$dM = \beta_a (x_p - x) V_p d\tau \quad (3)$$

Или

$$dM = \beta_{жв} (x_p - x) V_p d\tau \quad (4)$$

где:  $\beta_{жв}$  — объемный коэффициент массоотдачи, ч<sup>-1</sup>;  $\beta_{жв} = \beta_{жа}$ .

Практически измеряют парциальное давление в газовой фазе а не концентрации кислорода, растворенного в жидкости, находящейся в равновесии с жидкостью.

Согласно закону Генри:

$$x_p = \frac{1}{E} P O_2 \quad (5)$$

где:  $E$  - константа Генри, кг/(м<sup>3</sup>\*Па);  $P O_2$  - парциальное давление кислорода в ферментационной жидкости, Па.

На процесс культивирования микроорганизмов большое влияние оказывает процесс перемешивания ферментационной жидкости. Проведен многочисленный ряд исследований по гидродинамическому и массообменному процессу, но в основном присутствует отсутствие работ по исследованию влияния числа ярусов мешалок перемешивающих устройств и количества ярусов установленных на валу. Данное немаловажное конструирование крайне необходимо при расчете ферментаторов с механическим перемешивающим устройством [1-4].

Существует острая необходимость преодоления белкового дефицита при кормлении животных, это в свою очередь стимулирует дальнейшие исследования по увеличению производства белка. В работе предлагается получение кормового белка в условиях сельскохозяйственных предприятий. Эту потребность можно покрыть путём микробиологического синтеза. Использование процесса микробного синтеза в производстве кормового белка дает чистый, экологический продукт. Это приведет к повышению производительности в растениеводстве и животноводстве.

#### **Список литературы**

1. *Кокиева, Г.Е.* Дефекты, образующиеся при несоблюдении технологического процесса термической обработки конструктивных деталей ферментаторов. Причины их возникновения и пути устранения / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 140-142.
2. *Кокиева, Г.Е.* Исследование зависимости роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 31-33.
3. *Кокиева, Г.Е.* Состояние деформации деталей сложных технических систем / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 6. – С. 341-343.
4. *Кокиева, Г.Е., Павлова, А.И., Аммосов, И.Н., Соколов, Д.А., Сидоров, Г.Н., Слепцов, М.Р., Корякин, А.А., Васильев, А.Г.* Процесс аэрирования в аэратое колонкового типа./ Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 3. – С. 25-27.
5. *Черкашина, А.Г.* Влияние ПАБК на показатели крови молодняка песцов / Гегамян, Н.С., Новикова, Н.Н., Черкашина, А.Г., Романенко, Т.М. // Аграрная наука. - 2001.- №3.- С.25-26.
6. *Черкашина, А.Г.* Плодовитость и племенные качества серебристо-черных лисиц ГУП "Кырымах" Абыйского улуса / Черкашина, А.Г. // Сб. мат. IV респуб. науч. - практ. конф. «Местное производство: как поднять его эффективность?» - М., изд-во МСХА, 2001- С.64-66.

05.13.01

**Ю.Н. Кондрашов д-р техн. наук**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, kondrashovyn609@mai.ru, jkondr@yandex.ru

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*В работе рассматриваются вопросы использования современных аналитических технологий в системах поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла аэрокосмических изделий в форме гибкого многофункционального инструментария аналитических исследований. Рассматриваются базовые аналитические технологии, архитектура их встраивания в системы поддержки принятия решений, возможности реализующего программного обеспечения.*

*Ключевые слова: система поддержки принятия решений, хранилище данных, OLAP, Data mining, архитектура аналитической системы.*

В настоящее время сложился канонический набор технологий для анализа данных в различных областях (аналитические технологии). Такими технологиями являются Хранилище данных (Data Warehouse), Оперативная аналитическая обработка (On-Line Analytical Processing, OLAP), Средства интеллектуальной обработки данных или добычи знаний (Data Mining), включая развитие этих технологий для обработки неструктурированной информации и «больших данных» [1,2]. Эти технологии начали широко использоваться при проектировании, производстве, испытаниях и в процессе эксплуатации аэрокосмических изделий.

В качестве примеров можно привести поиск аномалий в телеметрических данных и мониторинг состояния технических систем, повышение качества производства, тестирование компонентов системы и прогнозирование возникновения в них неисправностей и другие задачи [3]. Для их решения используются перечисленные аналитические технологии и соответствующие им методы и алгоритмы. При этом можно констатировать, что каждая реализация, как правило, достаточно уникальна и специфична.

Эффективность систем поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла в значительной степени определяется комплексным использованием указанных аналитических технологий. Широкий спектр прикладных задач на этапах жизненного цикла изделий авиационной и космической техники требует унификации информационной архитектуры комплексного использования аналитических технологий в системах поддержки принятия решений.

Информационную архитектуру предлагается строить на базе унифицированных решений (шаблонов), что позволит создать гибкий, расширяемый и масштабируемый инструментарий в составе систем поддержки принятия решений изделий авиационной и космической техники на этапах их жизненного цикла. Реализация такого инструментария в составе систем поддержки принятия решений обеспечит структуризацию, хранение больших объемов технической информации (проектной, технологической, эксплуатационной) и гибкую постановку и формализацию задач с формированием информационных представлений, соответственно реализуемому процессу принятия решений.

Информационная архитектура для комплексного применения аналитических технологий включает подсистему сбора и очистки технической информации об авиационно-космических объектах и технологических процессах их производства и эксплуатации, хранилище данных с обработанной и структурированной информацией и предметно-ориентированными

аналитическими OLAP -кубами, подсистему формирования и использования аналитических моделей с возможностью реализации сценариев развития "что — если", подсистему формирования динамических отчётов и презентаций вариантов анализа в стандартных или специализированных приложениях.

В качестве возможной программной среды для реализации рассматривается MS SQL Server. Фирма Microsoft включила в состав SQL Server набор служб, связанных с бизнес-анализом, получившим название Microsoft Analysis Services. SQL Server является при этом центральной частью платформы обработки данных Майкрософт (ядро СУБД). Microsoft Analysis Services включает в себя службы интеграции (Integration Services) и службы анализа (Analysis Services). Службы Integration Services — это платформа для построения решений по интеграции и преобразованию данных из различных информационных систем на предприятии. Службы Integration Services обеспечивают загрузку хранилищ данных, очистку и интеллектуальный анализ загружаемых данных, а также управления объектами и данными SQL Server. Analysis Services включают в себя набор средств для работы с OLAP-кубами и интеллектуальным анализом данных. В качестве среды разработки хранилищ данных, OLAP-представлений и моделей Data Mining используется среда Business Intelligence Development Studio (BIDS).

Необходимую для принятия решений информацию обычно собирают из баз данных информационных систем различной структуры и содержания (САПР, АСУТП, CALS и др.). Основная проблема при этом состоит в несогласованности и противоречивости этих баз-источников, отсутствии единого логического взгляда на корпоративные и технические данные. Создание хранилища предполагает реализацию единого интегрированного источника данных по проектной, технологической, эксплуатационной информации по изделиям авиационно-космической техники для системы поддержки принятия решений.

В MS SQL Server входят службы SQL Server Data Quality Services (DQS), которые производят очистку данных для загрузки в хранилище на основе знаний. Службы DQS позволяют создать базу знаний, а затем выполнить в ней обработку входных данных для хранилища.

База знаний DQS строится на основе доменов (анализируемых атрибутов данных) и правил очистки (редактирования) доменных значений. Строится гибкая структура, включающая простые и составные домены (состоят из нескольких доменов, каждый из которых содержит знания об общих данных) и позволяющая обеспечить достаточно сложный логический анализ и преобразование входных данных. Высокое качество очистки данных обеспечивает также возможность DQS совместно использовать автоматические и интерактивные процессы очистки данных (двухэтапный процесс) и развивать базы знаний при увеличении объема используемой информации.

В системах поддержки принятия решений базы знаний DQS могут создаваться для отдельных объектов и/или технологических процессов с последующей интеграцией в общую базу знаний.

Логическая структура хранилища данных соответствует проведению всестороннего анализа объектов и процессов в системах поддержки принятия решений и создаётся из соединения таблиц измерений и фактов [4]. Таблица фактов содержит значения наиболее важных параметров анализируемых объектов и/или процессов, которые индексируются соответствующими значениями измерений (типы авиационно-космических объектов и/или технологических процессов их производства и эксплуатации, условия использования, время, отраслевые и общероссийские классификаторы и др.). Количество измерений может быть достаточно большим, обеспечивая всесторонний анализ в процессе принятия решений.

В процессе реализации хранилища данных для системы поддержки принятия решений формируются структуры измерений и их иерархий, определяются используемые базовые и производные параметры объектов и процессов, определяются критерии их аддитивности и функции агрегирования, ликвидируется возможная гомогенизация данных, разрабатываются процедуры поддержки медленно и быстро меняющихся измерений, формируются группы

предметно-ориентированных параметров, для которых определяется один набор измерений. Также определяются объем хранимых данных, производительность системы при обработке запросов с соответствующей нормализацией или денормализацией схемы хранилища (использование альтернативных канонических схем "звезда" или "снежинка"). Хранилище данных является источником данных для подсистемы OLAP-анализа и интеллектуальной обработки данных (Data Mining).

Используемая среда BIDS обеспечивает эффективное построение многомерных кубов для OLAP-анализа на основе разработанной структуры хранилища данных. При развертывании многомерных кубов BIDS позволяет реализовать альтернативные архитектуры их хранения (MOLAP, ROLAP, HOLAP), в зависимости от предполагаемых объемов хранения и требуемой производительности при выполнении запросов.

Для доступа к многомерному кубу в среде MS SQL Server для OLAP-анализа в системах поддержки принятия решений используются специальные приложения на базе языка запросов MDX (Multidimensional Expressions) или стандартные средства (например, Excel).

Методы и технологии Data Mining являются ключевыми в рассматриваемой информационной архитектуре. Data Mining включает широкий набор задач (регрессия, классификация, кластеризация, прогнозирование, анализ связей и др.), которые широко используются в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий в авиационно-космической области и поддержки их жизненного цикла. В рассматриваемой программной среде MS SQL Server для решения указанных задач имеется набор методов и настраиваемых по широкому набору параметров алгоритмов решения.

Достоинством Data Mining является гибкость постановок задач, включая решения прямых и обратных задач. Например, при соответствующей структуре хранилища данных, можно проводить анализ влияния технических параметров объектов на эксплуатационные показатели и анализ влияния целевых показателей эффективности в процессе эксплуатации изделий на рассматриваемые проектные и технологические параметры.

Применение методов Data Mining в системах поддержки принятия решений требует формирования соответствующих представлений для конкретных задач (выборка данных из хранилища и представление их в соответствующей задаче канонической форме). Например, для прогнозирования необходимо формирование временного ряда, где ключевыми значениями являются соответствующие временные метки. Для проведения классификационного анализа ключевыми значениями будут индексы авиационно-космических объектов с возможными различными наборами технических показателей. Обобщая, можно сказать, что структура данных хранилища не соответствует структуре данных конкретных задач и методов Data Mining, требуя трудоемких операций преобразования структур данных при использовании в процедурах системного анализа в системах поддержки принятия решений. Кроме того, использование методов Data Mining порождает достаточно сложную иерархию вариантов данных. Эта иерархия обусловлена возможной вариантностью выбираемых из хранилища исходных данных, применяемыми фильтрами и преобразованиями выбранных данных, вариантами структуры моделей анализа (включение тех или иных факторов в модель), вариантами применяемых методов для построения модели и их параметрами. На конечном этапе работы из этого большого числа вариантов необходимо выбрать и зафиксировать «наилучшую» модель для последующего использования в системе поддержки принятия решений.

Следует отметить, что MS SQL Server, который используется в качестве платформы для реализации, имеет набор средств для создания структур и моделей Data Mining, управления моделями и их использования. Поддерживается двухуровневая структура "структура анализа" — "модель" (для каждой канонической структуры можно создать несколько моделей). Однако такая структура недостаточна для отображения возможных вариантов аналитических исследований объектов авиационно-космической техники.

Используется расширенная иерархическая структура хранения и обработки информации для задач Data Mining. Структура имеет следующие уровни: прикладная задача, представление данных, выборка, наложенный фильтр и/или переразметка, структура анализа, модель, вариант алгоритма, параметры алгоритма. Имеется возможность сравнения качества создаваемых моделей и фиксации "лучшей" для дальнейшего использования. Такая структура более адекватна процессу решения аналитических задач и позволяет повысить эффективность анализа в системах поддержки принятия решений.

В связи с широким использованием в системах поддержки принятия решений прогнозных моделей обеспечивается возможность создания и использования таких моделей в иерархической структуре измерений. Реализована структура данных и алгоритмы, позволяющие строить прогнозную модель на разных уровнях иерархии измерений хранилища данных. Модель может строиться на детальных или агрегированных данных, а прогноз рассчитываться на соответствующей уровню модели или путем агрегации прогнозов нижних уровней.

Рассмотренные принципы комплексного применения аналитических технологий могут быть использованы при создании широкого круга информационных систем поддержки жизненного цикла авиационно-космических изделий.

### **Список литературы**

1. Барсегян А.А. и др. Анализ данных и процессов. СПб: БХВ-Петербург, 2009.
2. Кондрашов Ю.Н. Анализ данных и машинное обучение на платформе MS SQL Server. Учебное пособие. Русайнс. М.: 2019.
3. Деревянко В.В. Применение Data Mining в космических приложениях. Интеллект и наука: труды X Международной научно-практической конференции "Интеллект и наука" (г. Железногорск, 28-29 апреля 2010 г) - Красноярск: ИПК СФУ, 2010.
4. Ларсон Б. Разработка бизнес-аналитики в MS SQL Server. СПб.: Питер. 2008, 684с.



05.13.01

<sup>1,2</sup>В.В. Кукарцев канд. техн. наук, <sup>1</sup>А.А. Павленко

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева,  
инженерно-экономический институт,

кафедра информационных экономических систем,  
<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
Красноярск, vlad\_saa\_2000@mail.ru

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

*Проанализирован непараметрический алгоритм глобальной оптимизации. Исследования проводились на функции Акли, функции Растригина, функции Шекеля, функции Гриванка и функции Розенброка. Исследования проводились на трех алгоритмах разброса начальных точек: ЛПт последовательность, UDC последовательность, равномерный случайный разброс. Подобрана ядерная функция, параметр – гамма, параметр «Р», параметр «Q» у данного алгоритма на данных тестовых функциях для данных алгоритмов разброса начальных точек.*

Ключевые слова: *непараметрический алгоритм оптимизации, оптимальные параметры, ядерная функция.*

### ВВЕДЕНИЕ

Непараметрический алгоритм глобальной оптимизации [1] отличается от остальных тем, что это максимально универсальный алгоритм глобальной оптимизации. Для него абсолютно неважно, какой объект оптимизации, насколько сложной функцией он описывается. У объекта есть входные параметры и выходные. Мы должны по определенным критериям найти экстремум. Параметры этого алгоритма имеют очень большое значение для более эффективного достижения экстремума. Исследования проводились на функции Акли, функции Растригина, функции Шекеля, функции Гриванка и функции Розенброка. ЛПт последовательность, UDC последовательность, равномерный случайный разброс – очень интересные и эффективные алгоритмы разброса начальных точек. Последние исследования в этой области проводились в работах [1,2]. Эти исследования применялись к конкретным практическим задачам, не ставилась цель в усреднении данных параметров, в тестировании на большом количестве практических задач сложного вида тестируемой функции [3]. ЛПт–последовательности – это алгоритм разброса точек на основе матрицы неприводимых многочленов Маршала. UDC последовательности – это алгоритм абсолютно равномерного распределения точек по всем координатам в многомерном пространстве независимо от количества разбрасываемых точек. Равномерный случайный разброс – это стохастический алгоритм разброса точек, использующий нормальный закон распределения.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе исследования проводились на тестовых функциях: функция Акли, функция Растригина, функция Шекеля, функция Гриванка, функция Розенброка.

Для исследования ядерных функции были взяты два ядра: гиперболическое ядро и треугольное ядро. У гиперболического ядра параметр «Q» менялся от 1–20, а у треугольного от 500–10000. Исследования проводились при начальном интервале варьирования (50;50), начальной точке (10;10), Гамма=2.0, p=10.

Для подбора параметра гамма были взяты значения гаммы от 1.0 до 3.0. Исследования проводились при начальном интервале варьирования (50;50), начальной точке (10;10), гиперболическом ядре с «Q»=4, p=10.

Для подбора параметра «Р» были взяты значения «Р» от 1.0 до 30.0.

Исследования проводились при начальном интервале варьирования (50;50), начальной точке (10;10), гиперболическом ядре с «Q»=4, гамма=2.0.

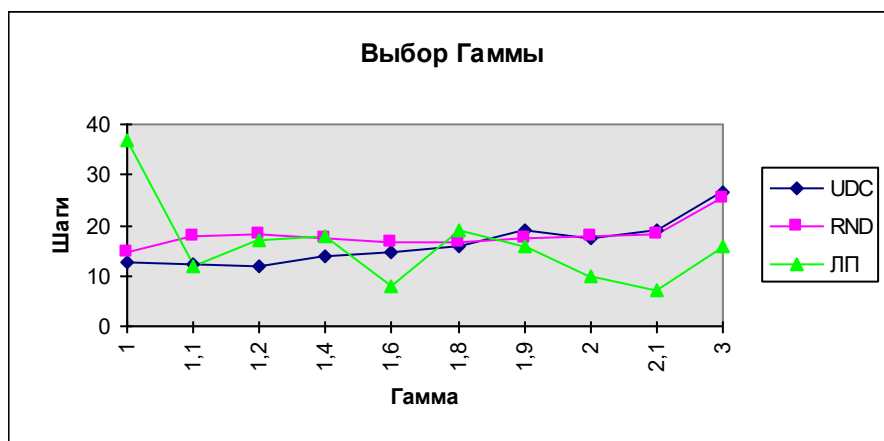


Рис. 1- Зависимость шагов оптимизационного алгоритма от гаммы

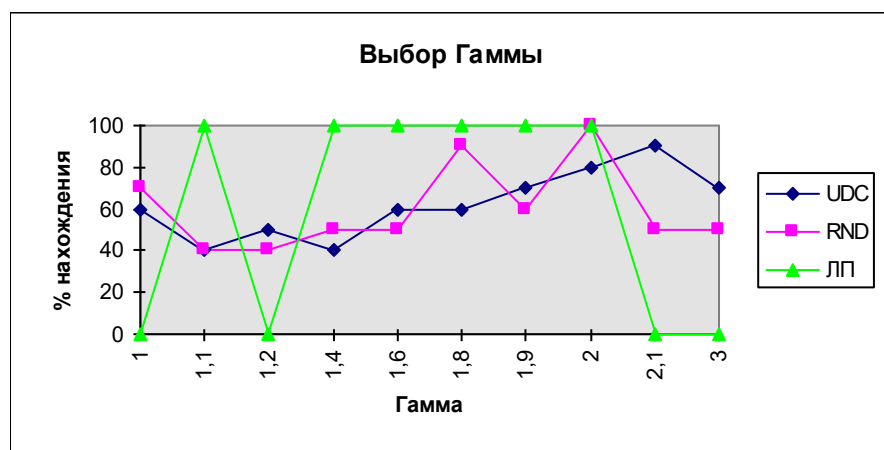


Рис. 2- Зависимость процента нахождения экстремума от гаммы

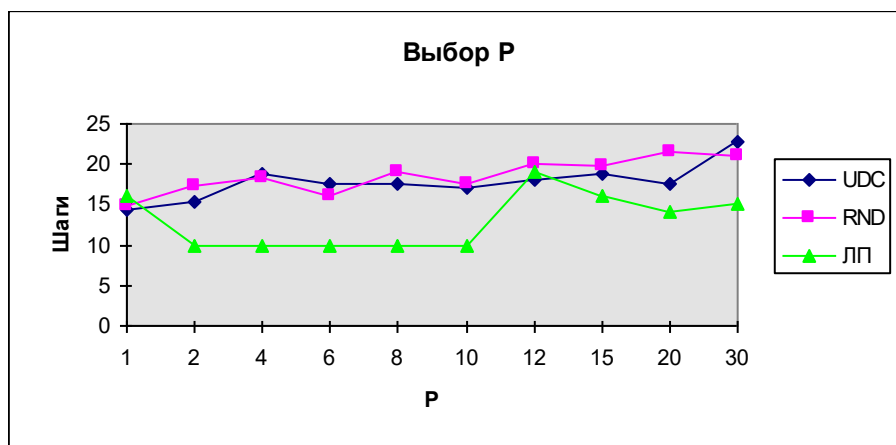


Рис. 3- Зависимость шагов оптимизационного алгоритма от «Р»

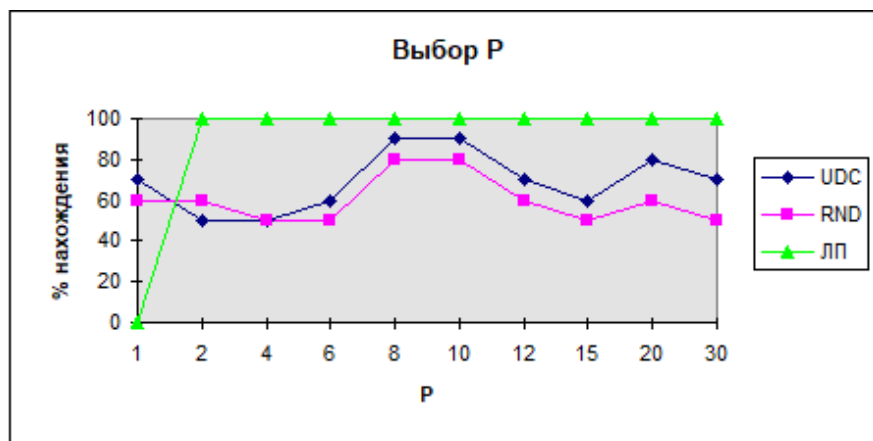


Рис. 4- Зависимость процента нахождения экстремума от «Р»

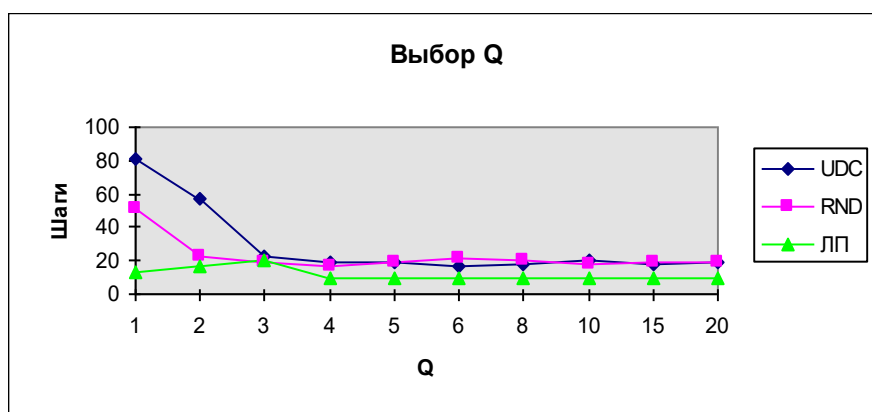


Рис. 5- Зависимость шагов оптимизационного алгоритма от «Q»

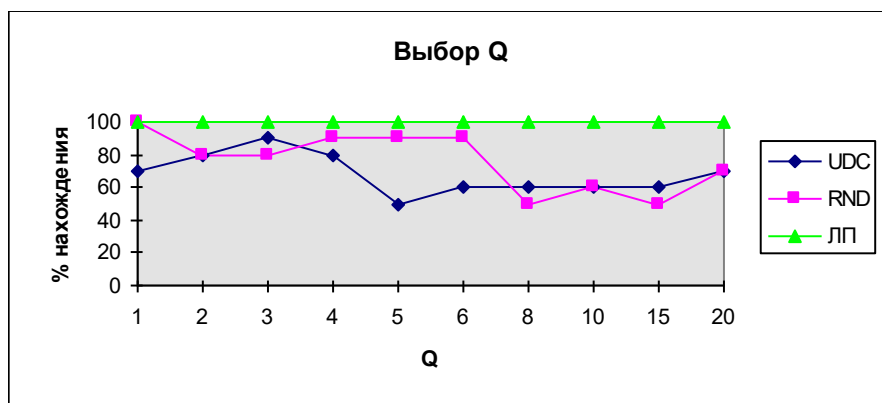


Рис. 6- Зависимость процента нахождения экстремума от «Q»

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Подбор параметра – гамма является сложной задачей. По рисунку 1 и 2 был сделан вывод, что лучшим значением параметра гамма для данных тестовых функций является 2.0.

Подбор параметра «Р» является сложной задачей. По рисунку 3 и 4 был сделан вывод, что лучшим значением параметра «Р» для данных тестовых функций является 10.0.

Подбор ядерной функции является сложной задачей. Несмотря на большую разницу в числах у параметра «Q», оба ядра работают почти одинаково. Однако лучшее ядро – гиперболическое с параметром «Q»=4 для данных тестовых функций (рисунок 5 и 6).

### ВЫВОДЫ

Проанализирован непараметрический алгоритм глобальной оптимизации. Исследования проводились на функции Акли, функции Растригина, функции Шекеля, функции Гриванка и функции Розенброка. Исследования проводились на трех алгоритмах разброса начальных точек: ЛПт последовательность, UDC последовательность, равномерный случайный разброс. В результате выявили лучшую ядерную функцию, параметр гамма и параметр «Р» для выбранных тестовых функций и алгоритмов разброса начальных точек.

### Список литературы

1. *Михов Е.Д., Иванов Н.Д.* Оптимизация коэффициента размытости ядра в задаче непараметрической идентификации //Космические аппараты и технологии. – 2018. – №. 2 (24).
2. *Лысянников А.В. и др.* Непараметрическая эволюционная модель процесса резания уплотненных снежно-ледянных образований снегоуборочным оборудованием отвального типа //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – №. 12
3. *Stanovov V., Akhmedova S., Semenkin E.* Selective Pressure Strategy in differential evolution: Exploitation improvement in solving global optimization problems //Swarm and Evolutionary Computation. – 2018.

05.13.01

**А.В. Ломазов д-р техн. наук, В.И. Ломазова канд. техн. наук,  
В.В. Ломакин канд. техн. наук, Р.Г. Асадуллаев канд. техн. наук**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Институт инженерных и цифровых технологий,  
кафедра прикладной информатики и информационных технологий,  
Белгород, lomazov@bsu.edu.ru, lomazova@bsu.edu.ru, lomakin@bsu.edu.ru,  
asadullaev@bsu.edu.ru

## **ОЦЕНКА УДОБСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНКЕТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

*Статья посвящена проблеме оценивания качества программных средств. Применительно к оценке средств разработки корпоративных приложений предложено формализованное представление оценочных элементов удобства применения программных средств и результирующих данных анкетирования пользователей в виде лингвистических переменных Заде. Разработана основанная на использовании алгоритма Мамдани процедура нечеткого логического вывода, позволяющая определить значения оценочных элементов по результатам анкетирования на основе нечетких продукционных правил.*

**Ключевые слова:** программные средства, оценка качества, корпоративные приложения, лингвистические переменные, нечеткий логический вывод.

### **Введение**

Развитие и широкое внедрение в различные сферы деятельности современных цифровых технологий приводит к повышению требований к качеству программных средств (ПС), что делает актуальным совершенствование методологического аппарата оценки качества ПС [1]. Международный стандарт, определяющий оценочные характеристики качества программных средств (ISO 9126) [2], и его российский аналог (ГОСТ 28195-89) [3], а также связанные с ними нормативные документы [4,5] во многом носят рекомендательный характер, что дает возможность развития инструментального аппарата оценивания качества ПС в соответствии с новыми требованиями. При этом необходимо иметь в виду, что инструментарий, ориентированный на существующую в текущий момент нормативную базу, быстро устаревает в силу изменения (отмены) отдельных нормативных документов. Это делает актуальными исследования, направленные на развитие теоретических основ оценивания качества ПС, базирующихся на использовании современной парадигмы интеллектуального анализа данных и с учетом специфики конкретных типов ПС.

В соответствии с [3] удобство применения (УП, UP) является одним из основных факторов качества (1-й уровень иерархической системы показателей качества ПС). При этом в качестве одного из способов (при классификации по источникам получения информации) определения значений показателей указан социологический метод без конкретизации его применения.

Целью настоящей работы является алгоритмизация определения показателя УП на основе интеллектуального анализа данных, полученных в результате анкетирования пользователей платформы разработки корпоративных приложений.

### **Иерархия оценочных показателей**

В рамках рассматриваемой иерархии показателей качества ПС фактор УП находится в вершине иерархии, второй уровень которой составляют критерии:

- легкость освоения (ЛО, LO),
- доступность эксплуатационных программных документов (ДЭПД, DEPD),
- удобство эксплуатации и обслуживания (УЭО, UEO).

Следующий уровень иерархии составляют метрики. Например, для критерия ЛО в [3] рекомендуется использовать метрики:

- освоение работы ПС (ОР, OR),
- документация для освоения (ДО, DO),
- полнота пользовательской документации (ППД, PPD).

Четвертый уровень иерархии составляют оценочные элементы. Например, для метрики ОР рекомендуется использовать оценочные элементы:

- возможность освоения ПС по документации,
- возможность освоения ПС на контрольном примере,
- возможность поэтапного освоения ПС.

Однако рекомендуемый в [3] экспертный способ определения значений этих оценочных элементов не в полной мере подходит для оценивания некоторых ПС и, в частности, для платформы разработки корпоративных приложений [6]. Предлагается заменить (или дополнить) его применением социологического метода, основанного на проведении анкетного опроса пользователей.

Введем лингвистические переменные  $L_{VOD}$ ,  $L_{VOKP}$ ,  $L_{VPO}$ , имеющие вербальные значения  $V_{VOD}$ ,  $V_{VOKP}$ ,  $V_{VPO}$  из множества термов {low, average, high}, характеризующих уровень возможности различных способов освоения ПС (оценочных элементов метрики ОР). Семантика этих термов (в соответствии с [7]) определена на отрезке  $[0,1]$  трапециевидными функциями принадлежности  $\mu$ , своими для каждой переменной. Например, для переменной  $L_{VOD}$ :

$$\mu_{VOD}(t): [0, 1] \rightarrow [0, 1], t \in \{\text{low, average, high}\}$$

Пример семантики термов для переменной  $L_{VOD}$  приведен на рис.1.

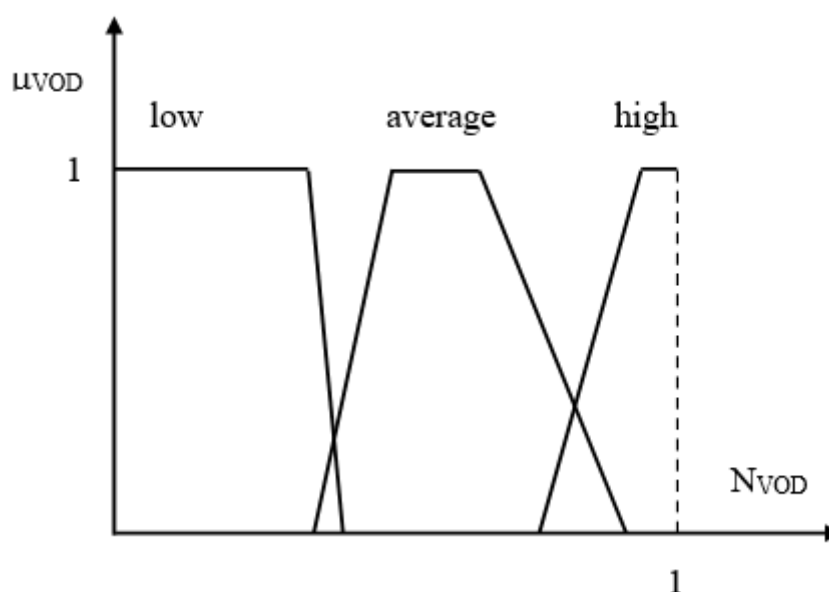


Рис. 1 – Семантика термов {low, average, high} для лингвистической переменной  $L_{VOD}$

Будем полагать, что для определения возможности освоения ПС по документации в анкете служат вопросы:

V1 – «удалось ли Вам самостоятельно (без дополнительной консультации) освоить ПС по документации?»,

V2 – «удалось ли Вам освоить ПС по документации в установленные сроки?»,

V3 – «удалось ли Вам освоить ПС по документации в достаточной для дальнейшей самостоятельной работы степени?», на которые респондент дает либо положительный (1), либо отрицательный (0) ответ. В более общем случае (например, когда достоверность

ответов на прямо поставленные вопросы может вызывать сомнения) положительные ответы формулируются в виде утверждений истинность которых методами логики высказываний выводится из ответов на косвенные вопросы [8,9].

Процент положительных ответов на каждый из вопросов, полученный после обработки анкетных листов группы пользователей, полагается равным числовому значению соответствующей переменной. Фаззификация значений переменных  $V_1, V_2, V_3$  проводится на основе трапециевидных функций принадлежности

$$v_i(t): [0, 100\%] \rightarrow [0, 1], i=1,2,3; t \in \{\text{low, average, high}\}$$

аналогичных функциям, приведенным на рис.1.

### Определение значений оценочных показателей

Связь между фаззифицированными результатами анкетирования и оценочными элементами (понимаемыми как лингвистические переменные) задается системой нечетких продукционных правил, составляющих базу знаний о предметной области. В рамках рассмотренного примера зависимость оценочного элемента  $V_{OD}$  (возможность освоения ПС по документации) от результатов ответов на анкетные вопросы описывает система из 27 нечетких продукций. Приведем некоторые из них:

- $R1(r_1)$ : if ( $V_1$ –low) and ( $V_2$ –low) and ( $V_3$ –low) then ( $V_{VOD}$  –low)
- $R2(r_2)$ : if ( $V_1$ –average) and ( $V_2$  – low) and ( $V_3$  – low) then ( $V_{VOD}$  –low)
- $R3(r_3)$ : if ( $V_1$ –low) and ( $V_2$ –average) and ( $V_3$ –low) then ( $V_{VOD}$  –low)
- $R4(r_4)$ : if ( $V_1$ –low) and ( $V_2$  – low) and ( $V_3$  – average) then ( $V_{VOD}$  – low)
- $R5(r_5)$ : if ( $V_1$ –average) and ( $V_2$ –average) and ( $V_3$ –low) then ( $V_{VOD}$  –average)
- $R6(r_6)$ : if ( $V_1$ –average) and ( $V_2$ – low) and ( $V_3$ – average) then ( $V_{VOD}$  –average)
- $R7(r_7)$ : if ( $V_1$ – low) and ( $V_2$ –average) and ( $V_3$ – average) then ( $V_{VOD}$  –average)

Здесь величины  $r_i$  ( $0 \leq r_i \leq 1, i=1,2,\dots,7$ ), отражающие степени достоверности продукционных правил, полагаются полученными с использованием экспертных технологий (например, [10]).

Общая процедура определения числовых значений оценочных элементов на основе результатов анкетирования содержит следующие этапы:

1. Формирование анкеты
2. Проведение анкетного опроса пользователей
3. Обработка результатов анкетирования
4. Фаззификация результатов анкетирования
5. Агрегирование подусловий продукционных правил
6. Активация подзаключений
7. Аккумуляирование заключений
8. Дефаззификация

В предлагаемой процедуре этапы 1-3 связаны с анкетированием, а этапы 4-8 – с нечетким логическим выводом числовых значений оценочных элементов  $N_{VOD}, N_{VOKP}, N_{VPO}$ : ( $0 \leq N_{VOD}, N_{VOKP}, N_{VPO} \leq 1$ ) соответствуют этапам алгоритма Мамдани [11]).

Для определения более высоких по уровню иерархии показателей качества ПС воспользуемся процедурой (приведенной в [3]), в рамках которой значение метрики определяется как среднее значение входящих в нее оценочных элементов. В рассматриваемом примере числовое значение метрики  $OR$  (освоение работы ПС) вычисляется по формуле:

$$N_{OR} = (N_{VOD} + N_{VOKP} + N_{VPO}) / 3$$

Числовое значение критерия  $LO$  (легкость освоения) вычисляется как взвешенное среднее числовых значений метрик  $OD, DO$  и  $PPD$ :

$$N_{LO} = W_{OD} N_{OD} + W_{DO} N_{DO} + W_{PPD} N_{PPD}$$

где весовые коэффициенты  $W_{OD}$ ,  $W_{DO}$ ,  $W_{PPD}$  удовлетворяют условиям

$$W_{OD}, W_{DO}, W_{PPD} \geq 0, \quad W_{OD} + W_{DO} + W_{PPD} = 1$$

и полагаются полученными на основе обработки экспертных суждений относительно значимости метрик OD, DO, PPD в составе критерия LO.

Относительное значение критерия LO вычисляется по формуле:

$$N^r_{LO} = N_{LO} / N^b_{LO}$$

где  $N^b_{LO}$  - базовое значение критерия LO, задаваемое экспертами.

Искомое числовое значение фактора УП (лежащего в вершине рассматриваемой иерархии показателей) определяется по формуле:

$$N_{UP} = W_{LO} N^b_{LO} + W_{DEPD} N^b_{DEPD} + W_{UEO} N^b_{UEO}$$
$$W_{LO}, W_{DEPD}, W_{UEO} \geq 0, \quad W_{LO} + W_{DEPD} + W_{UEO} = 1$$

где весовые коэффициенты  $W_{LO}$ ,  $W_{DEPD}$ ,  $W_{UEO}$  полагаются полученными на основе обработки экспертных суждений относительно значимости критериев LO, DEPD, UEO в составе фактора UP.

### **Заключение**

Применение предлагаемого подхода к оценке качества ПС, основанного на привлечении пользователей к процедуре оценивания, не смотря на большую (по сравнению с традиционным экспертным подходом) трудоемкость, представляется оправданным, когда использование ПС носит достаточно массовый характер (как в рассматриваемом случае платформы разработки корпоративных приложений). При этом необходимо отметить, что предлагаемый подход не исключает (и даже требует) привлечения экспертов, по крайней мере, на этапах построения лингвистических переменных, формирования базы знаний (совокупности нечетких продукционных правил), определения весовых коэффициентов показателей (при переходе от одного уровня иерархии показателей к следующему уровню), а также на этапе определения эталонных (базовых) значений показателей для рассматриваемого вида ПС. Дальнейшее развитие предложенного экспертно-пользовательского подхода к оценке качества ПС может быть связано с более широким (по сравнению с данной работой) применением моделей и методов теории искусственного интеллекта для поддержки экспертной деятельности.

*Исследование выполнено в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка методологии и инструментальных средств создания прикладных приложений, поддержки жизненного цикла информационно-технологического обеспечения и принятия решений для эффективного осуществления административно-управленческих процессов в рамках установленных полномочий», шифр «2017-218-09-187»; постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010г. №218.*



### Список литературы

1. *Chemuturi, Murali*. Mastering Software Quality Assurance: Best Practices, Tools and Techniques for Software Developers. – J.Ross Publishing, 2010. – 376 p.
2. ISO 9126 Software Quality Characteristics. URL: <http://www.sqa.net/iso9126.html> (дата обращения: 18.04.2019).
3. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009135> (дата обращения: 18.04.2019).
4. ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. URL: <https://www.iso.org/standard/35733.html> (дата обращения: 18.04.2019).
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. URL: <http://docs.cntd.ru>. (дата обращения: 18.04.2019).
6. Асадуллаев Р.Г., Ломакин В.В., Ильинская Е.В., Лысакова Т.А., Резниченко О.С. Систематизация функционала комплекса средств высокоуровневой разработки// Научно-технический вестник Поволжья. 2018. – № 11.– С. 185-188.
7. Zadeh L.A. Fuzzy Sets / L.A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – Vol.8. – P.338-353.
8. Ломазов В.А. Автоматизация анализа полноты и достоверности результатов социологических опросов// Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. –2007.– № 4.– С. 241-245.
9. Ломазов В.А. Применение формальной логики при анализе результатов социологических опросов//Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2008.– № 5 (61).– С. 167-169.
10. Вовченко А.И., Добрунова А.И., Ломазов В.А., Маторин С.И., Михайлова В.Л., Петросов Д.А. Анализ сложных динамических систем на основе применения экспертных технологий. – Белгород: БелГАУ, 2013.– 157 с.
11. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткого логического вывода. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2014. – 122 с.

05.13.01

**Н.П. Путивцева канд. техн. наук, Т.В. Зайцева канд. техн. наук, О.В. Бестужева,  
О.П. Пусная, И.В. Гурьянова, Ш.А. Халилов**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
институт инженерных и цифровых технологий,  
кафедра прикладной информатики и информационных технологий,  
Белгород, putivzeva@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, bestuzheva@bsu.edu.ru,  
pusnaya@bsu.edu.ru, gurjanova@bsu.edu.ru, khalilov@bsu.edu.ru

### **ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ ШИФРОВАНИЯ ФАЙЛОВ И ПАПЕК**

*В работе представлены результаты применения формализованной методики для проведения сравнительного анализа программ для шифрования файлов и папок. Для сравнения программ используется формализованная методика, предложенная А.М. Блюминым. Были отобраны для сравнения альтернативные программы для шифрования файлов и папок по сформированным критериям сравнения.*

*Ключевые слова: формализованная методика, программы шифрования, экспертный лист.*

Шифрование – это процесс кодирования информации таким образом, что она не может быть доступной другим людям, если они не имеют необходимый ключ для декодирования.

Довольно частой является ситуаций, когда пользователю необходимо защитить файлы на компьютере от других лиц. Существует ряд подходов обеспечить защиту файлов от постороннего доступа. Можно осуществлять блокирование файлов и папок пользователя, скрывание папок и файлов с использованием встроенных возможностей операционной системы. Также есть возможность проводить шифрование файлов. Но отрицательным моментом скрывания является то, что не в некоторых приложениях скрытые файлы являются видимыми. Если для шифрования использовать шифрованную файловую систему EFS, то защита действует только в файловой системе NTFS.

В связи с этим более целесообразно использование специализированных утилит для защиты персональных папок и файлов (включая скрывание, блокирование, шифрование).

Программ, позволяющих выполнять скрывание/шифрование папок и файлов в данный момент представлено довольно много, и они довольно сильно могут отличаться друг от друга по уровню реализованной в них защиты.

Возможные виды обеспечиваемой защиты: скрывание папок и файлов и/или их блокирование; скрывание дисков и/или их блокирование; шифрование файлов.

Сформулируем критерии для сравнения программ для шифрования файлов и папок и проведем их сравнительный анализ (таблица 1):

CyberSafe Files Encryption – программа для шифрования файлов и папок, позволяющая организовать прозрачное шифрование файлов и папок на локальном компьютере, создание и проверку цифровых подписей, обмен зашифрованными файлами с другими пользователями, защиту электронной почты, а также хранение закрытых ключей на токенах.

Folder Lock 7 – приложение для защиты личных данных. Оно позволяет скрыть файлы, папки, и даже целые диски от постороннего взора. Помимо того, чтобы просто скрывать информацию, утилита позволяет зашифровывать их таким образом, что без пароля получить к ним доступ будет невозможно.

AxCrypt 2 – простая в использовании программа для шифрования файлов, интегрируемая непосредственно в Windows, позволяющая проводить шифрование, дешифрование, просмотр и редактирование любого файла.

Gpg4win – набор инструментов, предназначенных для шифрования файлов и электронных сообщений.

CrococryptFile – программа для шифрования архивов распространяемая совершенно бесплатно и имеющая открытый исходный код. Отлично справляется при создании зашифрованных архивов с секретными файлами или папками.[1]

Таблица 1 – Сравнительный анализ программ для шифрования файлов и папок

Продукт / Показатель	CyberSafe Files Encryption Free	Folder Lock 7	AxCrypt 2	Gpg4win	CrococryptFile
Поддержка Windows 10	+	+	+	+	+
Интеграция с Проводником Windows	-	-	+	+	+
Способ распространения	условно-бесплатно (функционал ограничен)	платно (30 дней бесплатно)	платно (30 дней бесплатно)	бесплатно (gnu gpl)	бесплатно (gnu gpl v3)
Длина ключа	64 бит	256 бит	256 бит	2048 бит	256 бит
Шифрование сразу нескольких файлов	+	+	+	+	+
Шифрование сразу файлов и папок	+	+	-	+	+
Количество поддерживаемых алгоритмов шифрования	2	1	1	1	4
Перевод на русский язык	-	-	-	+	+

Для сравнения используемые признаки были разбиты на позитивные и негативные. К первому классу признаков (позитивных) для оценки программ были отнесены следующие:

1. Интеграция с проводником Windows (да, нет);
2. Длина ключа (64, 128, 256, 1024, 2048 бит);
3. Количество реализуемых алгоритмов шифрования (1, 2, 3, 4, 5);
4. Тип шифрования (сразу нескольких файлов, сразу файлов и папок);
5. Поддержка Windows 10 (да, нет).

В скобках указаны возможные значения соответствующего признака.

Во втором классе признаков (негативных) указано два признака:

1. Способ распространения (платный, условно-бесплатный, бесплатный);
2. Наличие русификации (да, нет).

Для каждого признака экспертным путем были установлены следующие градационные шкалы и коэффициенты весомости:

Таблица 2 – Шкалы и коэффициенты весомости

Признаки	Кол-во градаций	Коэф-ты весомости
Интеграция с проводником Windows (P <sub>И</sub> )	2	1
Длина ключа (P <sub>К</sub> )	5	3
Алгоритмы шифрования (P <sub>А</sub> )	5	3
Тип шифрования (P <sub>Ш</sub> )	3	2
Поддержка Windows 10 (P <sub>П</sub> )	2	1
Способ распространения (P <sub>С</sub> )	3	4
Язык программы (P <sub>Я</sub> )	2	1

На основе указанных данных были рассчитаны нормировочные коэффициенты для каждого класса признаков и определены ранги для каждого признака. Далее были рассчитаны шаги градации и значения уровней градации для каждого признака [2].

На базе полученных данных сформированы листы экспертной оценки для каждой сравниваемой программы шифрования (рисунок 1-2).

Составим лист экспертной оценки эффективности использования программного продукта CyberSafe Files Encryption:

1. Выберем в каждой таблице уровень проявления позитивного признака при использовании программного продукта, значение соответствующей градации и проставим его в качестве оценки признака:

2. Просуммируем оценки всех позитивных признаков:

Общая суммарная оценка позитивных свойств  $\sum P^+i(s)=38\%$

3. Выберем в каждой таблице уровень проявления негативного

Признак	Интеграция с проводником <u>Windows</u>					Оценка, %
Градация	нет		есть			0
Значение	0		10			

Признак	Длина ключа					Оценка, %
Градация	64 бит	128 бит	256 бит	1024 бит	2048 бит	0
Значение	0	8	16	24	32	

Признак	Алгоритмы шифрования (AES, RSA, <u>Twofish</u> , Serpent, Camellia)					Оценка, %
Градация	1	2	3	4	5	8
Значение	0	8	16	24	32	

Признак	Тип шифрования			Оценка, %
Градация	обычный	сразу нескольких файлов	сразу файлов и папок	20
Значение	0	10	20	

Признак	Поддержка Windows 10		Оценка, %
Градация	нет	есть	10
Значение	0	10	

Рис. 1- Положительные признаки листа экспертной оценки

признака при использовании данного ресурса, значение соответствующей градации и проставим его в качестве оценки признака:

Признак	Способ распространения			Оценка, %
Градация	бесплатный	условно-бесплатный	платный	40
Значение	0	40	80	

Признак	Перевод на русский язык		Оценка, %
Градация	есть	нет	10
Значение	0	10	

Рис. 2- Отрицательные признаки листа экспертной оценки

4. Просуммируем оценки всех негативных признаков:  $\sum P^-(s) = 50\%$

5. Вычислим общую оценку программного продукта путем вычитания из общей суммарной оценки позитивных свойств общей суммарной оценки негативных свойств: CyberSafe Files Encryption  $\Theta = \sum P^+(s) - \sum P^-(s) = -12\%$

Аналогичным образом были получены значения для других альтернатив:

Таблица 3 – Оценка эффективности программ шифрования

Программа	Folder Lock 7	AxCrypt 2	Gpg4win	CrococryptFile
<b>Общая суммарная оценка эффективности использования</b>	<b>-44</b>	<b>-44</b>	<b>80</b>	<b>80</b>

Таким образом, на основе рассчитанных значений можно сделать вывод, что наиболее удобными и функциональными программами для шифрования файлов и папок с интеграцией в Проводник Windows являются CrococryptFile и Gpg4win.

С появлением как новых альтернативных программ, так и новых признаков при использовании данного подхода не вызовет больших сложностей переопределение числовых характеристик для рассматриваемых признаков и получение актуальной информации по каждой рассматриваемой программе.

#### Список литературы

1. Lomakin, V.V., Putivtseva, N.P., Zaitseva, T.V., Pusnaya, O.P., Zaitsev, I.M. Comparative analysis of tools for modelling business processes of organization management. — International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7 (4.36), 134-139pp.
2. Блюмин А.М., Феоктистов. Н.А. Мировые информационные ресурсы Учебное пособие. — М.: Дашков и К, 2010. — 296 с.

05.13.01

**Н.П. Путивцева канд. техн. наук, Т.В. Зайцева канд. техн. наук, Т.А. Лысакова,  
О.П. Пусная, Л.А. Губкина, В.В. Щеткина**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
институт инженерных и цифровых технологий,  
кафедра прикладной информатики и информационных технологий,  
Белгород, putivzeva@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru, gubkina@bsu.edu.ru,  
812726@bsu.edu.ru

### **ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА АНТИВИРУСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*В работе представлены результаты проведения процедуры выбора антивирусного программного обеспечения на основе существующей формализованной методики. Для данного класса программного обеспечения выбраны наиболее значимые признаки, как положительные, так и отрицательные, для которых на основе экспертного мнения заданы коэффициенты весомости и количество градаций по каждому признаку, рассчитаны значения уровней градации. Проведена апробация предложенной методики на примере антивирусных программ бесплатной ценовой категории.*

*Ключевые слова: антивирусное программное обеспечение, формализованная оценка, характерные признаки сравнения, методика Блюмина.*

Антивирусное программное обеспечение – это компьютерная программа, в обязанности которой входит выявление, предотвращение и выполнение определенных действий, направленных на блокировку или удаление вредоносных программ, например, вирусов и червей, троянов, шпионских программ, которые используются злоумышленниками с различными целями: для удаления файлов, для кражи личных данных и для затруднения работы компьютеров и установления веб-соединения. Следовательно, выбор хорошей антивирусной программы является важным приоритетом для системы.

На основе проведенного анализа [1,2] было выявлено, что за редким исключением рассматриваемые антивирусные программы предлагают защиту в режиме реального времени, что позволяет обеспечить постоянную защиту компьютера.

Прежде всего, при сканировании компьютера проверяются на наличие вирусов наиболее уязвимые области, такие как системные папки или оперативная память. Однако следует учитывать, что алгоритмы работы антивирусного ПО различаются, при этом ряд антивирусных программ имеет более высокий уровень обнаружения вредоносного кода. Кроме непосредственной защиты файлов на компьютере антивирусные программы могут осуществлять ряд дополнительных функций, включая защиту входящей и исходящей электронной почты, защиту мгновенного обмена сообщениями и чатов, защиту интернет-серфинга и пр.

На основе проведенного сравнительного анализа антивирусных программ из ценового сегмента «бесплатно/условно-бесплатно» были получены следующие результаты (таблица 1).

К классу позитивных признаков для оценки программ отнесём следующие:

1. Сканирование по запросу (да, нет);
  2. Постоянная защита (да, нет);
  3. Сканирование во время загрузки (да, нет);
  4. Встроенный firewall (да, нет);
  5. E-mail защита (да, нет);
- Онлайн обновления (да, нет).

Таблица 1 – Сравнительный анализ антивирусных программ

	Dr.Web Antivirus	Avast Free Antivirus	Panda Antivirus Pro	ESET NOD32 Smart Security	Antivirus Kaspersky Free
Сканирование по запросу	+	+	+	+	+
Постоянная защита	+	+	+	+	+
Сканирование во время загрузки	-	+	+	+	+
Встроенный firewall	-	+	+	+	-
Е-mail защита	-	+	-	+	+
Онлайн обновления	-	+	+	+	+
Время загрузки системы с антивирусом, мин	>3	<1	<1	>1	<3
Время сканирования системных папок, мин	>15	>10	>20	>10	>20
Использование процессора, %	19	2,5	3	10	5,5
Использование памяти, Мб	115	40	40	110	147

К классу негативных признаков для оценки программ отнесём следующие[3]:

1. Лицензия (платная, условно-бесплатная, бесплатная);
2. Время загрузки системы с антивирусом (<1 мин., >1 мин., <2 мин., <3 мин., >3 мин.);
3. Время сканирования системных папок (>10 мин., >15 мин., >20 мин., >30 мин.);
4. Использование процессора (2,5%, 3%, 5,5%, 10 %, 19 %);
5. Использование памяти (40 Мб, 110 Мб, 115 Мб, 147 Мб).

Далее были установлены градационные шкалы для классов признаков, коэффициенты весомости для каждого признака, рассчитаны коэффициенты нормирования для каждого класса признаков и определены ранги для каждого из признаков и рассчитаны шаги градации для каждого признака (таблица 2).

Рассчитаем значения уровней градации для каждого признака:

Таблица 2 – Сводная таблица рассчитанных значений по классам признаков

Наименование признака	Градация, q	Коэффициент весомости, k	Коэффициенты нормирования	Ранги, r	Шаги градации, h
Сканирование по запросу ( $P_{СК}$ )	2	3	5	15	15
Постоянная защита ( $P_{ПЗ}$ )	2	4		20	20
Сканирование во время загрузки ( $P_{СЗ}$ )	2	4		20	20
Встроенный firewall ( $P_{Ф}$ )	2	3		15	15
Е-mail защита ( $P_{Е}$ )	2	3		15	15
Онлайн обновления ( $P_{О}$ )	2	3		15	15
Лицензия $P_{Л}$	3	2	10	20	10
Время загрузки системы с антивирусом $P_{ВЗ}$	5	2		20	5
Время сканирования системных папок $P_{ВС}$	4	2		20	7
Использование процессора $P_{ИП}$	5	2		20	5
Использование памяти $P_{П}$	4	2		20	7

$P_{СК}(0) = 0, P_{СК}(1) = 15; P_{ПЗ}(0) = 0, P_{ПЗ}(1) = 20; P_{СЗ}(0) = 0, P_{СЗ}(1) = 20;$   
 $P_{Ф}(0) = 0, P_{Ф}(1) = 15; P_{Е}(0) = 0, P_{Е}(1) = 15; P_{О}(0) = 0, P_{О}(1) = 15;$   
 $P_{Л}(0) = 0, P_{Л}(1) = 10, P_{Л}(2) = 20; P_{ВЗ}(0) = 0, P_{ВЗ}(1) = 5, P_{ВЗ}(2) = 10,$   
 $P_{ВЗ}(3) = 15, P_{ВЗ}(4) = 20; P_{ВС}(0) = 0, P_{ВС}(1) = 7, P_{ВС}(2) = 14, P_{ВС}(3) = 20;$   
 $P_{ИП}(0) = 0, P_{ИП}(1) = 5, P_{ИП}(2) = 10, P_{ИП}(3) = 15, P_{ИП}(4) = 20;$   
 $P_{П}(0) = 0, P_{П}(1) = 7, P_{П}(2) = 14, P_{П}(3) = 20.$

На основе полученных данных сформированы листы экспертной оценки антивирусных программ.

Пример заполнения данных по позитивным представлен на рисунке 1.

На рисунке 2 приведена сводная таблица рассчитанной эффективности антивирусных программ.

В работе был рассмотрен пример использования одной из распространенных методик формализованного оценивания информационных ресурсов на примере выбора антивирусного программного обеспечения из категории бесплатных или условно-бесплатных, выделены позитивные и негативные признаки для данных программ, оценены их весомости и приведены расчеты.

Признак	Сканирование по запросу			Оценка, %		
Градация	нет	есть		15		
Значение	0	15				
Признак	Постоянная защита			Оценка, %		
Градация	нет	есть		20		
Значение	0	20				
Признак	Сканирование во время загрузки			Оценка, %		
Градация	нет	есть		0		
Значение	0	20				
Признак	Встроенный firewall			Оценка, %		
Градация	нет	есть		0		
Значение	0	15				
Признак	E-mail защита			Оценка, %		
Градация	нет	есть		0		
Значение	0	15				
Признак	Онлайн обновления			Оценка, %		
Градация	нет	есть		0		
Значение	0	15				
Общая суммарная оценка позитивных свойств $\sum P^+i(s), \%$				35		
Признак	Лицензия			Оценка, %		
Градация	бесплатная	условно-бесплатная	платная	10		
Значение	0	10	20			
Признак	Время загрузки системы с антивирусом			Оценка, %		
Градация	<1 мин.	>1 мин.	<2 мин.	<3 мин.	>3 мин.	20
Значение	0	5	10	15	20	
Признак	Время сканирования системных папок			Оценка, %		
Градация	>10 мин.	>15 мин.	>20 мин.	>30 мин.	6,7	
Значение	0	6,7	13,4	20,1		
Признак	Использование процессора			Оценка, %		
Градация	2,5%	3%	5,5%	10%	19%	20
Значение	0	5	10	15	20	
Признак	Использование памяти			Оценка, %		
Градация	40 Мб	110 Мб	115 Мб	147 Мб	13,4	
Значение	0	6,7	13,4	20,1		
Общая суммарная оценка негативных свойств $\sum P^-i(s), \%$				70,1		
Общая суммарная оценка эффективности использования Dr.Web Antivirus $\Delta = \sum P^+i(s) - \sum P^-i(s), \%$				-35,1		

Рис. 1 - Лист экспертной оценки эффективности использования антивирусной программы Dr.Web Antivirus



Общая суммарная оценка эффективности использования $\Xi = \sum P^+i(s) - \sum P^-i(s), \%$	
<u>Dr.Web Antivirus</u>	-35,1
<u>Avast Free Antivirus</u>	100
<u>Panda Antivirus Pro</u>	56,6
<u>ESET NOD32 Smart Security</u>	63,3
<u>Antivirus Kaspersky Free</u>	26,5

Рис. 2 – Сводные данные по эффективности использования

**Вывод:** в результате формализованной оценки качества антивирусных программ и эффективности их использования, было определено, что наилучшей по эффективности и качеству является антивирусная программа Avast Free Antivirus. А антивирусной программой худшей по эффективности и качеству является Dr.Web Antivirus.

#### Список литературы

1. Антивирусы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sd-company.su/article/antivirus/>
2. Блюмин А.М., Феоктистов. Н.А. Мировые информационные ресурсы Учебное пособие. — М.: Дашков и К, 2010. — 296 с.
3. Lomakin V.V., Putivtseva N.P., Zaitseva T.V., Pusnaya O.P., Zaitsev I.M. Comparative Analysis of Tools for Modelling Business Processes of Organization Management International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.36) (2018) 134-139

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)**

05.13.06

**А.П. Буйносов д-р техн. наук, Е.В. Федоров, К.Н. Яковлев, А.В. Хваловский**

Уральский государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Электрическая тяга»,  
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, fedorov335@yandex.ru, kostya\_13\_10@mail.ru,  
antoshka456@gmail.com

**РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО  
ТОРМОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В статье приводятся требования для разработки системы беспроводного электропневматического торможения локомотивами и вагонами на железных дорогах Российской Федерации. Приводятся достоинства и недостатки новой системы торможения.*

*Ключевые слова: железная дорога, подвижной состав, локомотив, вагон, торможение, электропневматическое, беспроводное, разработка.*

Стратегической задачей локомотиво- и вагоностроителей является обеспечение развития перевозок высокодоходных грузов железнодорожным транспортом. Для этого нужно уменьшать простой вагонов на станциях и повышать скорости движения поездов [1]. Разработка интеллектуального подвижного состава с цифровым управлением, является одной из первоочередных задач в развитии современного локомотиво- и вагоностроения. Ее реализация требует выполнение большого объема научно-исследовательских и конструкторских работ с участием высококвалифицированных специалистов.

Одним из направлений при создании «умного поезда» является модернизация систем управления торможением подвижного состава. Важнейшим элементом «умного» вагона должна стать быстродействующая система беспроводного электропневматического торможения (БЭПТ). Ее применение обеспечит устойчивую передачу команд на торможение по всему составу практически одновременно, что позволит полностью исключить продольно-динамические реакции в поезде. Подвагонное оборудование БЭПТ приведено на рисунке.



Рис. Подвагонное оборудование БЭПТ

Анализируя перспективы системы БЭПТ с оснащением вагонов независимым источником питания в виде генератора на буксе и управлением по радиоканалу, необходимо отметить, что как и у любой сложной, многокомпонентной системы, у нее есть достоинства и недостатки. Существенные риски (уязвимости) несет в себе технология радиуправления поездом. Если для управления маневровыми локомотивами на станции посредством беспроводной передачи команд можно обеспечить надежную, бесперебойную радиосвязь (как показывает опыт работы на ст. Лужская), то в условиях магистральных железных дорог Российской Федерации, с мостами, тоннелями, сложным профилем пути, вероятными электромагнитными помехами, это представляется сложной, трудновыполнимой задачей. Также необходимо отметить технические ограничения эффективности применения предлагаемой системы БЭПТ.

Использование в качестве источника питания автономного генератора, устанавливаемого на буксе колесной пары вагона исключает возможность длительной работы БЭПТ на низких скоростях движения, и тем более на стоянках поезда. Как известно, применяемый в пассажирском движении электровоздухораспределитель усл. № 305 имеет в своем составе два электропневматических вентиля, каждый из которых при срабатывании потребляет ток  $I = 150$  мА. В режиме «перекрыша» срабатывает только один электропневматический вентиль, в режиме «торможение» работают оба. Таким образом, при номинальном напряжении  $U$  в цепи ЭПТ 50 В, мощность  $W$  одного электровоздухораспределителя (ЭВР) составляет  $W = 2 \cdot U \cdot I = 2 \cdot 50 \cdot 0,15 = 15$  Вт [2].

В целях повышения надежности специалистами компании НПО «РаТорм» была разработана новая система БЭПТ для грузового вагона, для управления процессами торможения и отпуска пневматических тормозов на вагоне одновременно по всему грузовому составу [3]. Учитывая, что данная система является современной и перспективной, применение в ней новейших элементов в области радиоэлектроники позволит снизить энергопотребление ЭВР до 6 Вт (исходя из минимально возможной мощности электропневматических вентилях 3 Вт). Кроме того, потребляемую мощность возможно снизить путем применения не электропневматических вентилях, работающих при постоянном электропотреблении, а электромагнитных клапанов с импульсным срабатыванием. В таком случае, потребление электроэнергии в момент подачи импульса будет составлять не менее 10 Вт, но ввиду кратковременности подачи электрического импульса в цепь ЭПТ (не более 0,5 с) общее снижение энергопотребления весьма значительно. Однако кроме электромагнитных клапанов, данная беспроводная система должна содержать в себе микропроцессорные подсистемы управления, приема, обработки, передачи сигналов и информации, приемник-излучатель радиосигналов, датчики давления (как минимум 2, тормозного цилиндра и тормозной магистрали). В совокупности общее энергопотребление, без учета потерь на сопротивление будет определяться по формуле:

$$\sum_0^i W = W_1 + W_2 + \dots + W_i, \quad (1)$$

где  $W_1 \dots W_i$  – мощности составляющих элементов цепи БЭПТ, Вт.

В условиях обеспечения устойчивой радиосвязи (с учетом дальности передачи данных на расстояние 1,5–2 км) мощность потребления данной системы составляет около 10–15 Вт (при самых оптимальных условиях).

Таким образом, автономный источник питания, установленный на вагоне для обеспечения работы системы БЭПТ, должен обеспечивать данное электропотребление в любой момент движения поезда по перегону. Учитывая, что в качестве источника питания предлагается использовать генератор, установленный на буксе грузового вагона, необходимо предусмотреть подсистему накопления электроэнергии (аккумуляторную батарею), так как при движении на низких скоростях, а также при стоянке поезда, генератор не сможет обеспечить электроснабжение системы. Согласно известным данным [4], средняя скорость доставки грузовой отправки (маршрутная скорость грузовых поездов) на сети дорог ОАО «РЖД» составляет 341,2 км/сутки, или 14,2 км/ч, средняя участковая скорость грузовых поездов составляет 37,7 км/ч. Из этих данных видно, что значительное время поезд находится не в состоянии движения, а стоит на станции или перегоне. При этом, даже в условиях нахождения БЭПТ в состоянии покоя, функционирование системы не должно прекращаться (диагностика и контроль состояния тормозов по радиоканалу должны обеспечиваться на протяжении всего времени движения поезда). Учитывая вышесказанное, вагонный генератор должен во время движения не только обеспечивать электроэнергией работу системы БЭПТ, но и заряжать аккумуляторную батарею. Требуемая мощность генератора  $W_{\Gamma}$  (при движении с участковой скоростью) в таком случае должна составлять:

$$W_{\Gamma} = W_{\text{ЭПТ}} + \frac{W_{\text{ЭПТ}}}{\eta} \cdot \frac{V_y}{V_m}, \quad (2)$$

где  $W_{ЭПТ}$  – мощность системы БЭПТ, Вт;  $V_y$  – участковая скорость грузовых поездов, км/ч;  $V_m$  – маршрутная скорость грузовых поездов, км/ч;  $\eta$  – коэффициент полезного действия аккумуляторной батареи.

В условиях энергопотребления системы БЭПТ 10 Вт, и КПД аккумуляторной батареи 90 % требуемая мощность генератора при движении с участковой скоростью 37,7 км/ч составит 40 Вт.

При использовании в данной системе дополнительных диагностических устройств или систем контроля потребляемая мощность соответственно будет больше. Тем самым существенно ограничивается потенциал использования данной системы как интеллектуального диагностического комплекса на ходу поезда. Отдельно надо анализировать риски, связанные с ее надежностью и особенностями технического обслуживания в эксплуатации. С учетом вышеперечисленных недостатков, на протяжении последних 2–3 лет различные научные и промышленные предприятия направляют свои усилия на разработку интеллектуальных микропроцессорных систем управления поезда с обеспечением электропитания от локомотива и проводной передачи данных. Одной из наиболее перспективных представляется система управления тормозами и диагностики всего подвижного состава, с оснащением грузовых вагонов системой электропитания и передачи данных по защищенным кабельным линиям [5].

Система электропитания должна быть замкнутого типа, без замыкания на корпус подвижного состава, и содержать в себе кабель питания и кабель передачи информации. При этом вагоны будут оснащены электронным многофункциональным регистрирующим блоком (бортовым компьютером), своеобразным «черным ящиком». Данный блок по командам с локомотива будет управлять тормозами вагона, а также передавать на локомотив всю необходимую диагностическую информацию о состоянии не только тормозов, но и всех ответственных узлов вагона. Оборудование грузового подвижного состава электрической системой питания и передачи данных позволит оснастить каждый вагон БЭПТ, что, в свою очередь, устраним проблему продольно-динамических реакций в поезде, сократит процессы торможения и отпуска, повысив тем самым маршрутную скорость движения.

Кардинально изменится технология подготовки составов на станциях и обслуживание поездов в пути следования. Такие устройства, как системы закрепления вагонов, стационарные устройства опробования тормозов, устройства теплового контроля букс и многие другие уйдут в прошлое, как ушли в свое время смазочные подразделения вагонного хозяйства при переводе подвижного состава на буксы с подшипниками качения. Все процессы диагностики вагонов и локомотивов будут производиться автоматически, в режиме реального времени. Кроме того, можно будет точно определять предотказные состояния ответственных узлов и деталей вагона. Все это позволит перейти железным дорогам Российской Федерации с планово-предупредительной системы ремонта подвижного состава на систему ремонта «по фактическому состоянию», при этом не только не понизив, а повысив безопасность движения.

#### **Список литературы**

1. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
2. Буйносов А.П., Лаптев С.И. Перспективы применения триботехнических составов для ремонта бандажей колесных пар без прекращения эксплуатации локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 50-52.
3. Буйносов А.П., Наговицын В.С., Марулин С.Л. Методология развития систем мониторинга, диагностирования, обслуживания и ремонта подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 110-113.
4. Буйносов А.П., Яковлев К.Н., Хваловский А.В. Влияние условий эксплуатации локомотивов на износ бандажей колесных пар // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 3. С. 46-49.
5. Буйносов А.П., Федоров Е.В. Совершенствование метода расчета длины тормозного пути железнодорожного подвижного состава // Известия Транссиба. 2018. № 1(33). С. 13-22.

05.13.06

**А. Н. Глубокая, В. В Бухтояров канд. техн. наук.**

Сибирский Федеральный университет,  
Институт нефти и газа,  
кафедра технологических машин и оборудования,  
Красноярск, anglubokaya@yandex.ru

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ РЕГУЛЯТОРОВ**

*Объектом исследования является колонна для ректификации нефти. В работе рассматривается система управления ректификационной колоны для регулирования температуры верха колонны. Проведен анализ применения систем управления основанных на нейросетевом регулировании и на ПИД-регулировании.*

Ключевые слова: *нейроуправление, ректификационная колонна, прогнозирующие управление.*

### **Введение**

Во всем мире нефтепереработка является одним из опаснейших видов производств, которое сопровождается угрожающими безопасности происшествиями, в том числе, взрывами, пожарами, авариями тяжелой техники, последствиями которых могут быть случаи травм и гибели обслуживающего персонала, экологические катастрофы техногенного характера, большие экономические убытки. Обеспечение безопасной и безаварийной работы оборудования является первостепенной задачей организации производства.

Уменьшению случаев аварийных состояний аппаратуры нефтепереработки следует уделять особое внимание, а именно прогнозированию ее работы, скорости подбора оптимальных параметров регулирования при выходе параметров из установленных пределов или для достижения заданных параметров в кратчайшее время. Возникает необходимость в системе управления, обеспечивающей автоматическое регулирование параметров процесса, проходящих в объекте управления, для достижения максимальной точности управления, сокращения времени переходных процессов и минимизации ошибок.

Одним из основных процессов первичной нефтепереработки является ректификация. Ректификация является сложным процессом, проходящий в условиях неопределенности исходной информации, зависящей от многих факторов. Для управления данным процессом целесообразно использование методов искусственного интеллекта, основанных на нечетком управлении и искусственных нейронных сетях (ИНС).

В рассмотренных работах автоматические системы управления предназначены для улучшения качества отбираемых фракций. Для этой цели были использованы ПИД-регуляторы [1], LQR и LQG регуляторы [2], регуляторы нечеткого управления и ПИД-регулятор.

### **Описание исследуемых методов**

В настоящее время разработаны различные методы нейроуправления, к которым относятся: подражающее, инверсное, прогнозирующее, многомодульное, гибридное и вспомогательное. Для управления процессом ректификации взята за основу прогнозирующее нейроуправление, в частности нейроконтроллер с предсказанием, так как данный вид нейроуправления часто используют для управления динамическими объектами.

Для исследования работоспособности алгоритмов управления необходима динамическая математическая модель процесса, полученная путем взаимосвязи входных и выходных параметров в ректификационной колонне. В работе [3] автором найдена аналитическая динамическая математическая модель ректификационной установки, полученная из уравнений материального баланса процесса ректификации для всей колонны. Основные взаимосвязи входных и выходных параметров в ректификационной установке представлены

на рисунке 1. Основные каналы регулирующих воздействий, позволяющие стабилизировать регулируемые величины с помощью системы управления, обозначены сплошными линиями. Пунктиром обозначены воздействия являющиеся внутренними или внешними возмущениями по к регулирующим воздействиям.

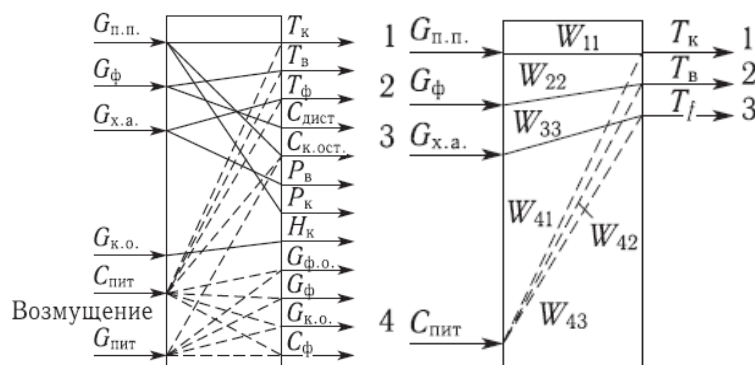


Рис. 1. Общая и упрощенная схема взаимосвязи параметров

Параметры колонны:  $G_{п.п.}$  — расход перегретого пара в кипятильник колонны,  $G_{ф.}$  — расход флегмы в колонну,  $G_{х.а.}$  — расход хладагента в дефлегматор колонны,  $G_{к.о.}$  — расход кубового остатка из колонны (готового продукта),  $G_{пит.}$  — расход реакционной смеси на тарелку питания колонны,  $G_{ф.о.}$  — расход отбора флегмы (готового продукта),  $C_{пит.}$  — концентрация питания колонны,  $C_{дист.}$  — концентрация дистиллята,  $C_{к.ост.}$  — концентрация кубового остатка,  $C_{ф.}$  — концентрация флегмы,  $T_{к.}$  — температура куба колонны,  $T_{в.}$  — температура верха колонны  $T_{ф.}$  — температура флегмовой жидкости,  $P_{в.}$  — давления верха колонны,  $P_{к.}$  — давления куба колонны,  $H_{к.}$  — уровень жидкости в кубе колонны.

Большинство систем управления направлены на регулирование параметров верха колонны. В работе рассмотрен канал связи  $W_{22}(p)$  — «расход флегмовой жидкости  $G_{ф.}$  — температура верха колонны  $T_{в.}$ », передаточная функции для данного канала связи представлена в таблице 1. Таблица 1- Передаточная функция упрощенной модели процесса ректификации нефти.

Канал связи	Передаточная функция
$W_{22}(p)$	$W_{22}(p) = \frac{1.663}{5.083p^3 + 4.343p^2 + 1.698p + 1}$

Для построения математической модели зависимости температуры верха колонны от расхода флегмовой жидкости, которая имитирует процессы протекающие в реальном объекте использовался пакет прикладных программ MatLab Simulink.

### Экспериментальная часть

Рассмотрим управление процессом ректификации с помощью регулятора с предсказанием. В качестве параметра регулирования принята температура верха колонны.

В качестве управляющей системы предусмотрен регулятор NN Predictive Controller, основанный на нейросетевом регулировании с возможностью прогнозирования поведения процесса в будущем. Регулятор обеспечивает вычисление сигнала управления для оптимизации поведения объекта управления на заданном промежутке времени и состоит из нейросетевой модели и блока оптимизации [4]. Блок оптимизации вычисляет значения  $u'$ , которые минимизируют критерий качества управления, а соответствующий сигнал управляет процессом. Модель системы регулирования температуры верха колонны представлена на рисунке 2.

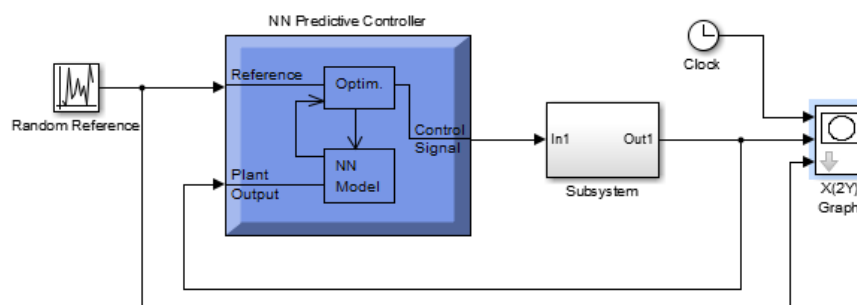


Рис. 2 - Модель системы регулирования температуры верха колонны

Для проведения сравнительного анализа рассмотрим классическое регулирование параметра, при использовании ПИД-регулятора. Все параметры объекта управления и возмущающего воздействия остаются неизменными, модель регулирования представлена на рисунке 3.

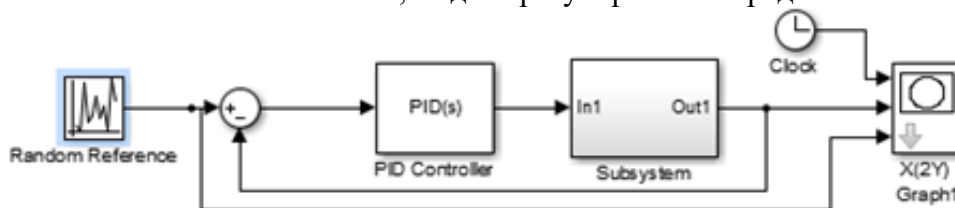


Рис.3 - Модель системы регулирования температуры верха колонны

В качестве источник сигнала были приняты: случайный сигнал «Random reference», ступенчатый сигнал «Step», случайный сигнал с нормальным распределением «Random Number». В результате была вычислена ошибка регулирования при применении различных источников сигнала (таблица 2). Таблица 2 - Результаты исследования эффективности ситемы регулирования.

Контроллер/ Источник сигнала	Ошибка регулирования температуры верха колонны, °C		
	«Random reference»	«Step»	«Random Number»
PID-регулятор	2.48	1.64	0.96
NN контроллер	0.98	1.31	0.63

Анализ результатов исследования показал, что применение контроллера, работа которого основана на нейросетевом регулировании с возможностью прогнозирования поведения процесса, позволило сократить время переходного процесса, увеличить точность управления процессом ректификации и снизить ошибку регулирования по сравнению с контроллером, основанным ПИД - регулированием.

### Заключение

В статье рассматривается проблема сложности системы управления процессом ректификация, смоделирована математическая модель зависимости температуры верха колонны от расхода флегмовой жидкости, смоделированы прогнозирующая система управления и система управления ПИД регулированием.

Проведен сравнительный анализ ПИД-регулирования и нейрорегулирования, в ходе которого доказано, что точность управления в прогнозирующей системе регулирования увеличилась по сравнению с ПИД- регулированием.

### Список литературы

1. Торгашов А.Ю. Итерационный синтез робастного многомерного ПИД-регулятора для управления реакционно-ректификационной колонной /А.Ю. Торгашов / Информатика и системы управления. Проблемы управления. – 2006. – № 4.–С. 26–31.
2. Стопакевич, А.А. Разработка робастной системы управления колонной атмосферной перегонки нефти / А. А. Стопакевич / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 5, № 2. – С. 49 – 57.
3. Капля Е.В. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах/Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В. П.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - С. 171-178.
4. Бураков, М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие/ М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП. – 2013 – С. 120-126.



05.13.06

**В.А. Егоров канд. техн. наук**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,  
 электротехнический факультет,  
 кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,  
 Комсомольск-на-Амуре, egoroff\_v@list.ru

## ТИПОВАЯ НАСТРОЙКА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Предлагается «типовая» настройка, с асимптотической логарифмической амплитудно-частотной характеристикой разомкнутой системы -60 -20 -60 дБ/дек (-3 -1 -3). Приведён пример использования настройки для расчета регулятора положения сервосистемы.

Ключевые слова: типовая настройка, система автоматического управления, регулятор, сервосистема.

Настройки на технические оптимумы [1] широко известны и интенсивно применяются в инженерной практике. Они могут быть дополнены предлагаемой ниже настройкой.

Настройка -3-1-3 имеет следующие характеристики:

- желаемая передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{\text{жр}}(p) = \frac{(16 * T_{\mu} p + 1)^2}{(16 * T_{\mu} p)^2} \frac{1}{4 * T_{\mu} p} \frac{1}{(T_{\mu} p + 1)^2}$$

где  $T_{\mu}$ -эквивалентная малая постоянная времени системы;

- запас по фазе -  $34^{\circ}$ ;

- перерегулирование - 53%;

- время переходного процесса -  $t_{\text{пп}} \approx 60 * T_{\mu}$ .

Частотные характеристики разомкнутой системы, соответствующие желаемой передаточной функции разомкнутой системы, при условии, что малая постоянная времени модели  $T_{\mu} = 1$ , приведены на рисунке 1.

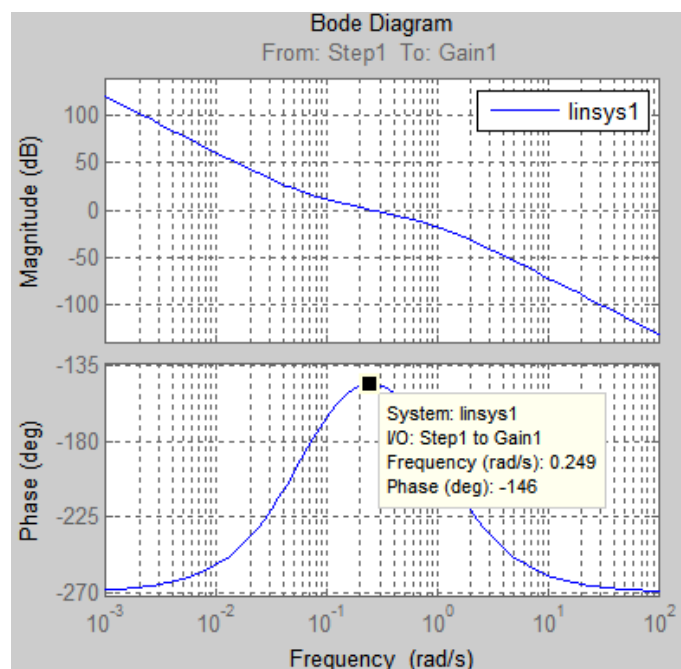


Рис. 1 – Частотные характеристики разомкнутой системы с настройкой -3-1-3



Из рисунка 1 следует, что запас по фазе составляет 34 градуса.

Переходная характеристика замкнутой системы с настройкой -3-1-3 представлена на рисунке 2.

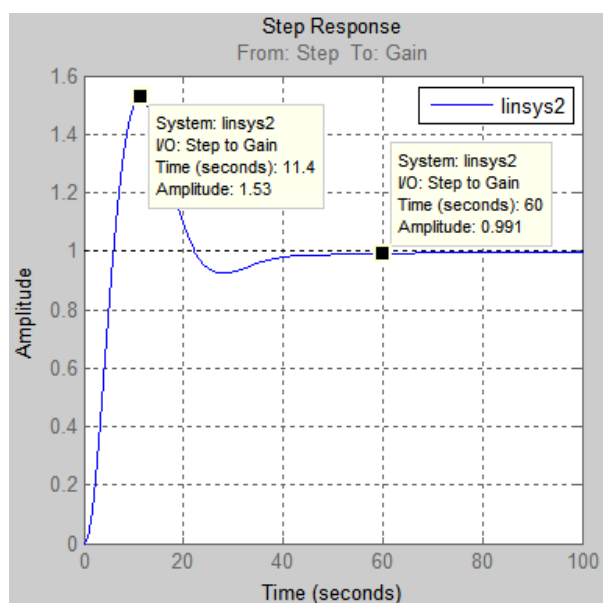


Рис. 2 - Переходная характеристика замкнутой системы с настройкой -3-1-3

Из рисунка 2 видно, что перерегулирование составляет – 53 процента, а время переходного процесса, приблизительно – 60 малых постоянных времени объекта регулирования.

Из желаемой передаточной функции разомкнутой системы так же следует, что:

- частота первого излома асимптотической амплитудно-частотной характеристики составляет  $1/(16 * T_\mu)$ ;
- частота среза системы -  $1/(4 * T_\mu)$ ;
- частота второго излома асимптотической амплитудно-частотной характеристики -  $1/T_\mu$ .

Применим описанную настройку для синтеза регулятора контура положения контурной servосистемы.

Передаточная функция объекта, как правило, имеет вид

$$W_o(p) = \frac{1}{Tp^2} \frac{1}{(T_\mu p + 1)}$$

Передаточная функция регулятора положения, при последовательном способе коррекции

$$W_{rp}(p) = \frac{W_{жр}(p)}{W_o(p)} = \frac{(16 * T_\mu p + 1)^2}{(16 * T_\mu p)^2} \frac{1}{4 * T_\mu p} \frac{1}{(T_\mu p + 1)^2} \frac{Tp^2(T_\mu p + 1)}{1} =$$

$$= \frac{T}{16 * 4 * T_\mu^2} \frac{16 * T_\mu p + 1}{16 * T_\mu p} \frac{16 * T_\mu p + 1}{T_\mu p + 1}$$

В результате преобразований, получен пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор положения, с дифференцированием на четыре октавы.

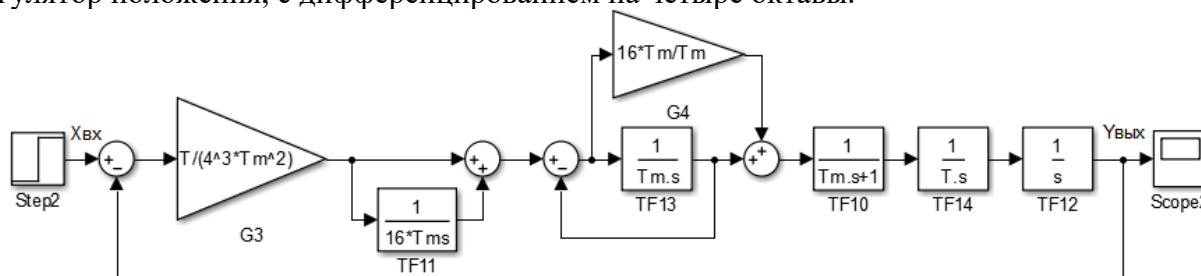


Рис. 3 – Модель контура положения

Моделирование рассчитанной системы выполнялось с использованием структурной схемы

(рисунок 3). Были использованы следующие параметры объекта -  $T_\mu = 1$ ,  $T = 10$ .

Результатом моделирования является переходная характеристика servосистемы, приведённая на рисунке 4.

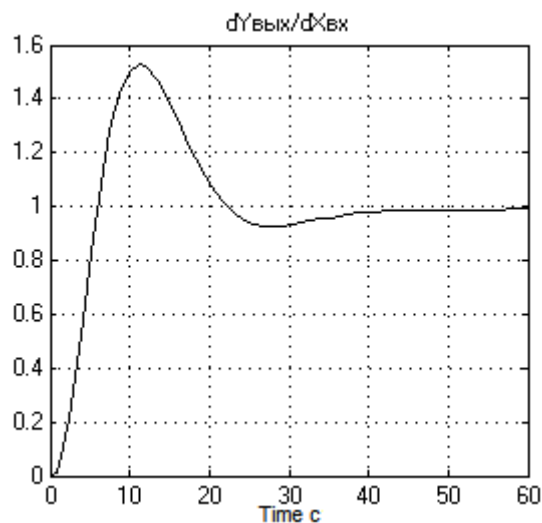


Рис. 4 – Переходная характеристика servосистемы, при использовании настройки -3-1-3

Перерегулирование (53%) и время переходного процесса ( $60T_\mu$ ) соответствует характеристикам использованной настройки.

#### **Список литературы**

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов./ А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский - Ленинград: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. - 392 с.

05.13.06

**Е.В. Зубков канд. техн. наук, Д.М. Корнилов, А.С. Орда, В.С. Салин**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
кафедра информационных систем,  
Набережные Челны, eugen\_z@mail.ru

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИМИТАЦИЕЙ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВОЖДЕНИЯ В СРЕДЕ SIMINTECH**

*Работа посвящена созданию усовершенствованного инструментария стендовых исследований дизельных двигателей для грузовых транспортных средств на основе технологии виртуально-физических испытаний, которая позволяет уменьшить стоимость проведения исследований. Основной проблемой здесь является разработка математической модели дизельного двигателя, описывающей его работу с приемлемой точностью при имитации реальных условий вождения. Имитация проводится в среде динамического моделирования технических систем SimInTech.*

Ключевые слова: *дизельный двигатель; моделирование; испытание; имитация, нагрузка.*

Дизельные двигатели являются основным источником энергии в грузовых транспортных средствах. Дизельные двигатели, занимают доминирующее положение в указанной группе транспортных средств. В последнее время на развитие дизельных двигателей в значительной степени повлияло изменение методов измерения выбросов выхлопных газов, а именно, за счет введения реальных выбросов при вождении и обеспечения соблюдения измерения количества частиц. Будущие и текущие требования, которые связаны с выбросами выхлопных газов, требуют выполнять испытания на выбросы в реальных условиях эксплуатации, что является еще одной из главных проблем для инженеров.

В связи с высокой актуальностью вопроса экологичности двигателей, а именно уровню выбросов вредных газообразных веществ, вредных частиц и дымности, на основе правил ЕЭК ООН №49 был сформирован ГОСТ Р 41.49-2003. Для этого данным ГОСТом предусмотрено проведение сертификационных испытаний, например, испытания ЕТС, испытательный цикл которого состоит из 1800 последовательных посекундных переходных режимов.

Реализацию технологии испытаний можно осуществить с помощью среды динамического моделирования технических систем SimInTech [1], являющуюся гибким и мощным средством для разработки сложных расчетных моделей. SimInTech предназначена для детального исследования и анализа нестационарных процессов в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования [2].

Для исследований была выбрана дорога общего пользования, а именно трасса «Уфа-Москва», М7. Эксперимент проводился на грузовом автомобиле со следующими характеристиками: модификация - D3; категория - N3; колёсная формула - 4x2; максимальная частота вращения коленчатого вала – 2500 об./мин.; максимальный крутящий момент 950 Нм; полная масса – 15000 кг; мощность двигателя - 210 кВт; количество цилиндров двигателя – 6; рабочий объем двигателя - 6.7 литра; система топливоподачи двигателя - Bosch электроника.

После проведения предварительной настройки оборудования и обкатки автомобиля производилась запись параметров в течении 7102 секунд.

На рисунке 1 представлен участок графика частоты вращения двигателя при реальном вождении.

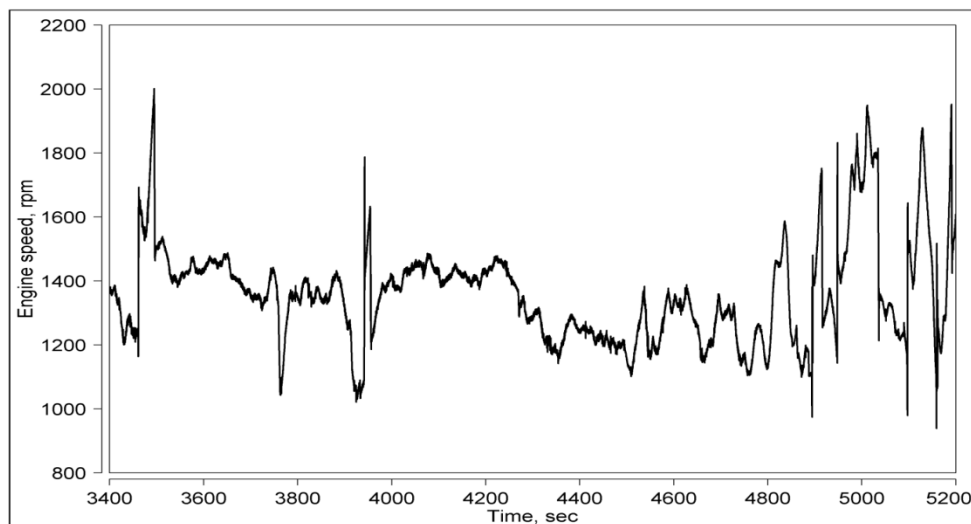


Рис. 1. – Измеренная частота вращения двигателя

В связи с достаточно большой ресурсоемкостью и длительностью проведения испытаний дизельных двигателей более эффективным считается их проведение с использованием технологии виртуально-физических испытаний. Использование виртуально-физической технологии при разработке автомобильных энергоустановок, сохраняет все возможности и преимущества лабораторных испытаний, позволяет воспроизводить работу энергоустановки в условиях движения автомобиля, которые в традиционных подходах реализуются только при его испытаниях на дороге.

Ядром данной технологии является математическая модель, которая позволяет с достаточной точностью и минимальными затратами вычислительных ресурсов имитировать поведение дизельного двигателя при реальных условиях вождения. Эта модель необходима как для управления испытательным стендом, так и для получения части характеристик расчетным путем.

На основе предложенной модели [3, 4] и с учетом проведенных натурных испытаний, была получена модель для конкретного дизеля (1).

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = -3.33 \times X_1 + 3.33 \times Accelerator \\ \frac{dX_2}{dt} = X_3 \\ \frac{dX_3}{dt} = -0.769 \times X_2 - 2.46 \times X_3 + 0.769 \times M_C \end{cases} \quad (1)$$

$$n(t) = X_1 - 0.65 \times X_2 - 2.4 \times X_3$$

Данная модель представлена в виде системы дифференциальных и алгебраического уравнения, так как такая форма представления является наиболее желательной для SimInTech.

Предлагаемый подход направлен на создание высокотехнологичного процесса автоматизированных испытаний дизельных двигателей с учетом современных требований к качеству, надежности и экологичности. Он заключается в проведении испытаний, имитирующих реальные нагрузки, испытываемых двигателем в процессе эксплуатации.

После того, как математическая модель была получена, создадим имитационную модель в среде SimInTech (Рис. 2).

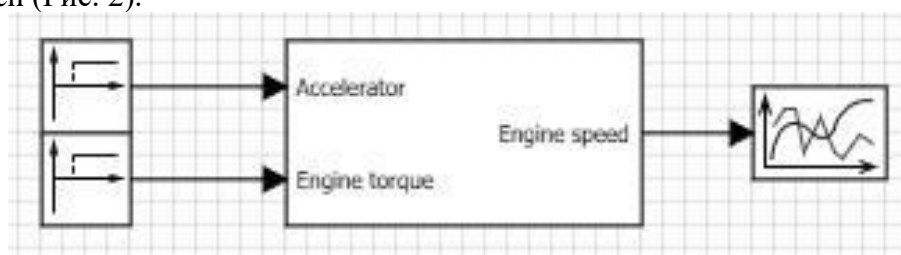


Рис. 2. – Структурная схема моделирования режимов работы дизельного двигателя в SimInTech

Входные сигналы (слева) задают величину акселератора и нагрузку на валу дизельного двигателя. При этом блок модели (в центре) формирует на выходе частоту вращения вала дизельного двигателя, которая отображается блоком «временной график» (слева).

На рис. 3 представлены смоделированная и экспериментальная характеристики дизельного двигателя, причем участок с самой неблагоприятной величиной погрешности.

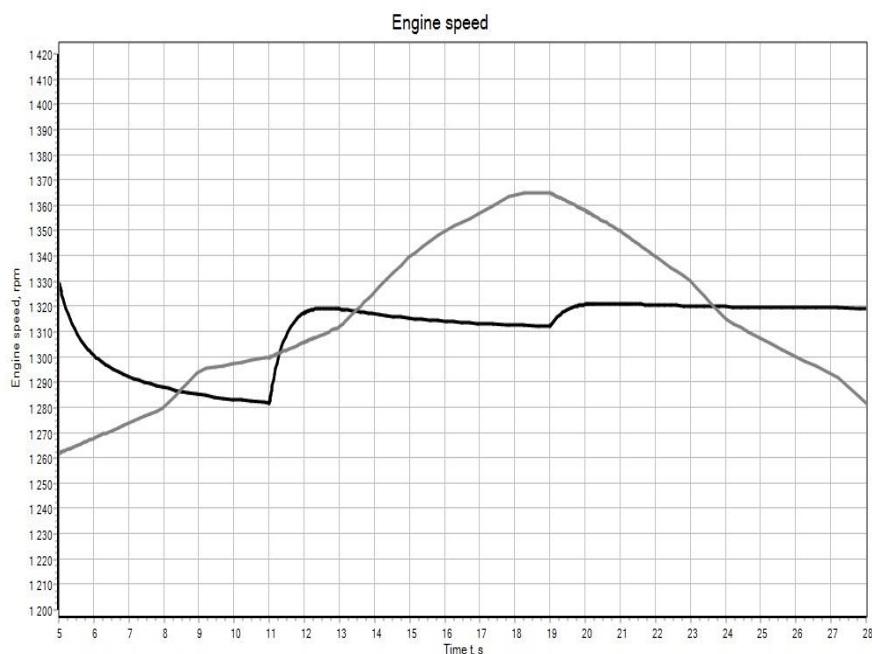


Рис. 3 – Смоделированная и экспериментальная характеристики дизельного двигателя

Для разработанной модели граничными условиями ее адекватности выступают ограничения по сцеплению колес с дорогой и допустимый диапазон изменения метеоусловий. Модель адекватна только при условии отсутствия пробуксовки колес как в тяговом, так и в тормозном режимах.

В приведенном исследовании все граничные условия соблюдены и для проверки адекватности модели применен метод наименьших квадратов. Погрешность смоделированной характеристики относительно экспериментальной составляет  $5 \pm 0.4\%$  с надежностью 99%, что говорит об адекватности модели.

#### Список литературы

1. Карташов Б.А., Шабает Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech, – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 423 с.
2. Баум Ф.И. Программное обеспечение SimInTech для программирования приборов систем управления /Ф.И. Баум, О.С. Козлов, И.А.Паршиков, В.Н. Петухов, К.А.Тимофеев, А.М. Щекатуров // Атомная энергия, 2012. Т.113. Вып.6 - С.354-357.
3. Zubkov E.V. Computer modeling of the automated tests of diesel engines various conditions of their operation//2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings. - 2017. - Vol., Is.. - Art. № 7911586.
4. Зубков Е.В. Имитационное моделирование технологических процессов автоматизированных испытаний дизелей при динамических нагрузках на машиностроительном предприятии /Зубков Е.В., Мочалов Д.И., Хайруллин А.Х. //Научно-технический вестник Поволжья. - Казань. 2013. - №1. - С. 274-277

05.13.06

**Т.Г. Орешенко канд. техн. наук, О.А. Бочарова, А.С. Свиридова,  
В.С. Тынченко канд. техн. наук, А.Н. Бочаров канд. техн. наук**

Сибирский государственный университет науки и технологии  
имени академика М.Ф. Решетнева,  
институт информатики и телекоммуникаций,  
Красноярск, veisver@mail.ru, shyx\_89@mail.ru

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ НАГРЕВЕ**

*В статье рассматривается исследование и создание математической модели распределения температуры при электронно-лучевом нагреве в зависимости от технологических параметров. Особенностью этой математической модели является ее применение в процессе получения сварных швов деталей из алюминиевых сплавов.*

**Ключевые слова:** электронно-лучевая сварка, электронно-лучевой нагрев, распределение температур, нагрев, поле температур, моделирование температур.

Электронно-лучевая сварка широко применяется при изготовлении различных узлов и деталей в машиностроении. Она позволяет получать качественные сварные соединения материалов разных толщин. Одним из наиболее часто встречающихся дефектов при сварке деталей больших толщин является пористость. Качество сварного шва зависит от множества параметров поэтому моделирование теплового процесса при ЭЛС позволяет не только понять как формируется сварочный шов, но и выработать рекомендации по сварке.

В литературе [1, 2, 3] широко распространены результаты, приемы и методы математического моделирования электронного луча, канала проплавления и теплопереноса при электронно-лучевой сварке. Это модели, разработанные Судником В.А. в программе LASIM [4], имитации на основе программы SYSWELD [5] и др.

Тепловые процессы и фазовые превращения можно описать с помощью математической задачи Стефана [6, 7]. Решение таких задач находят численными методами, применяя подход с явным и неявным выделением границ. Однако высокая погрешность расчетов, громоздкий математический аппарат не позволяют применять метод в реальном масштабе времени.

Для практического применения необходимы методы расчета по относительно простым формулам, не требующим значительного выделения вычислительных ресурсов.

При низких значениях мощности, когда материал не разрушается, единственным следствием действия электронного луча на материал является нагрев. Если параметры электронно-лучевого источника тепла известны, то поле температур в обрабатываемом материале определяют путем решения задачи теплопроводности. В частности, для осесимметричного электронного луча, падающего нормально к поверхности полубесконечного тела, задача о нагреве имеет вид [6]:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial t} - \Delta T(r, z, t) = \frac{q(r, z, t)}{\lambda}$$

Для оценки критических параметров теплового источника существует задача о температурном поле полуограниченного тела, нагреваемого объемным источником [6].

Объемный источник теплоты может быть описан уравнением

$$q(x', y', z') = q_0 \exp[-(x'^2 + y'^2)k_1 - (z' - h)^2 k_2].$$

Для определения температуры нагреваемого металла в произвольной точке  $A(x, z)$  необходимо знать характер ее распределения по толщине прослойки в сечении проходящем через эту точку.

Температура нагрева распределена неравномерно, особенно по толщине. Было установлено, что средняя температура нагрева практически не зависит от режима процесса и изменяется в широком диапазоне.

Расчет температурного поля упрощается, если по условиям задачи с практической точностью можно принять коэффициент теплопроводности  $\lambda$  и удельную объемную теплоемкость  $c\rho$  постоянными. Тогда дифференциальное уравнение теплопроводности становится линейным и принимает вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{q_3}{c\rho} = a \nabla^2 T + \frac{q_3}{c\rho},$$

где  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  называется коэффициентом температуропроводности,  $\text{см}^2/\text{с}$ , а

$$\nabla^2 = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right); \quad \nabla^2 T = \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right).$$

При нагреве «на проход», т.е. когда металл в зоне действия источника нагрева нагревается на всю толщину температуру по толщине металла  $T(z)$  можно считать постоянной. В этом случае реализуется тепловая схема – пластина, и температурное поле является двумерным (плоским)  $T=T(x,y,t)$ . В линейный элемент теплопроводящего тела, имеющий форму бесконечно длинной призмы малым основанием  $dxdy$ , в начальный момент времени  $t=0$  внесем тепло, распределенное равномерно по длине этой призмы с интенсивностью  $Q_1$  Дж/см. Температурное поле, получающееся от действия мгновенного линейного источника, в силу линейности задачи можно получить наложением температурных полей бесконечного числа мгновенных точечных источников, равномерно распределенных вдоль оси  $z$ , совпадающей с осью призмы, и вносящих в элемент длиной  $dz$  тепло  $dQ = Q_1 dz$ . При этом для температуры любой точки тела

$$T(x,y,t) = \frac{Q_1 \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{4at}\right)}{c\rho(4\pi at)^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{4at}\right) dz$$

Фундаментальное уравнение теплопроводности для этого случая

$$T(x,y,t) = \frac{Q}{c\rho s(4\pi at)} \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right).$$

Температурное поле мгновенного линейного источника в данный момент времени зависит лишь от плоского радиуса-вектора  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ , и его изотермические поверхности — круговые цилиндры, ось которых совпадает с осью источника. При этом изотермические линии в плоскости  $yz$  представляют собой прямые, а в плоскости  $xu$  — окружности.

Решение соответствующей краевой задачи осуществляется на основе ее конечно-элементной аппроксимации с последующим применением итерационного метода. Модель источника (электронного луча) приведена на рисунке 1.

Исследование температуры в зоне нагрева произведено путем численного моделирования в пакете программ «Comsol Multiphysics» - программной среды, обеспечивающей все этапы моделирования. Примененная расчетная сетка более подробна в окрестности луча для адекватного решения задачи моделирования. Исследуемая среда считается изотропной линейной, а тепловое поле сварочного процесса - квазистационарным.



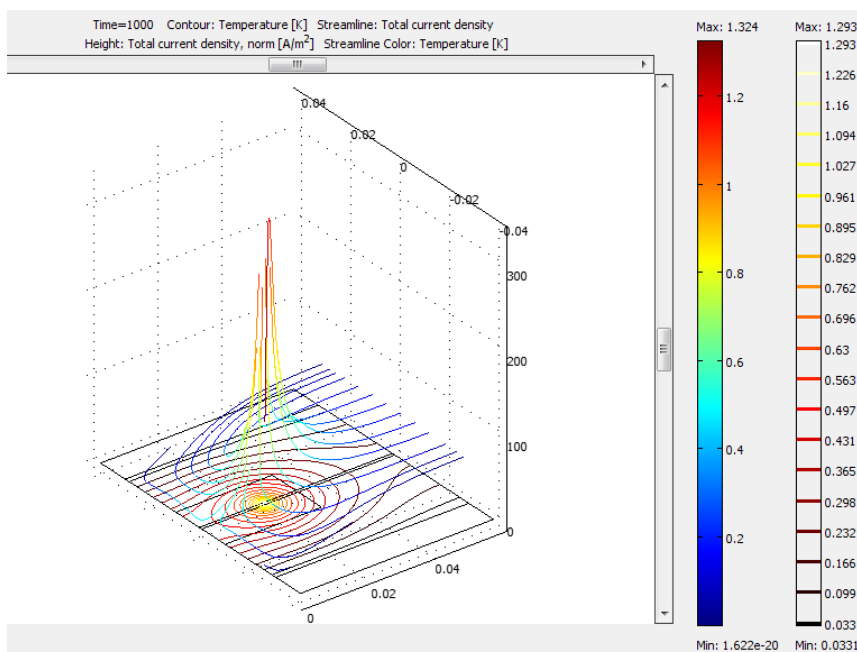
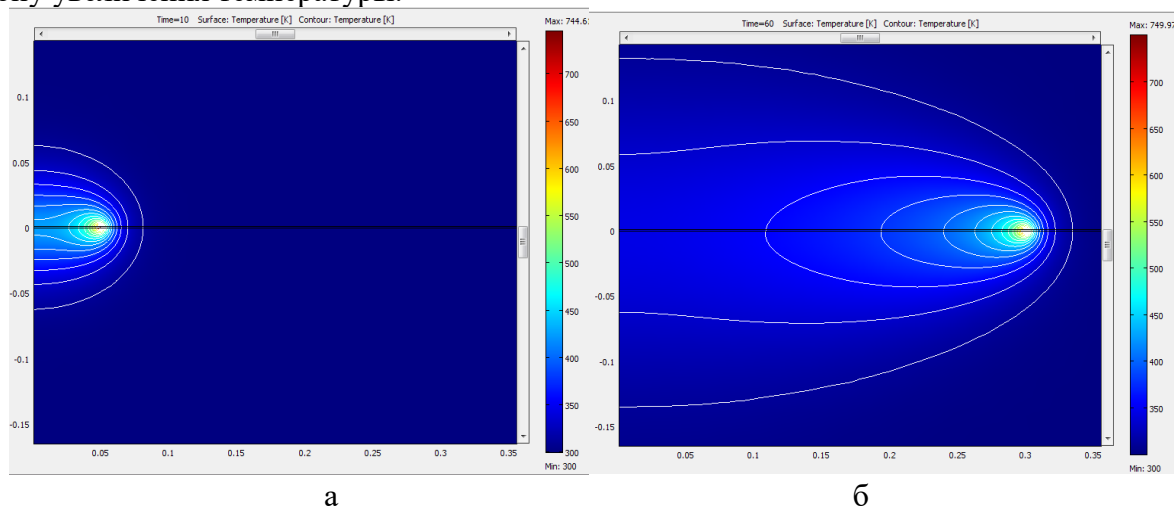
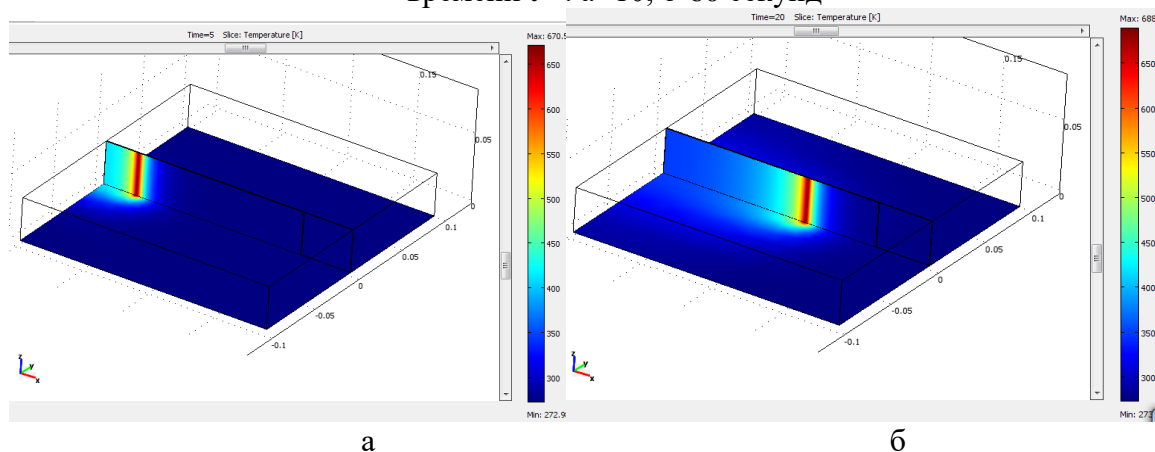


Рис. 1 – Модель нагрева электронным лучом

На рисунках 2 и 3 представлены результаты моделирования температуры в нагреваемом изделии в различные моменты времени. Наличие резкого градиента температур изменяет движение газовых пузырьков в жидкости, поскольку появляется составляющая скорости в сторону увеличения температуры.

Рис. 2 - Моделирование температурного поля при электронно-лучевом нагреве в моменты времени  $t =$ : а- 10, б-60 секундРис. 3 – Трехмерное моделирование температурного поля при электронно-лучевом нагреве в моменты времени  $t =$ : а- 5, б- 20 секунд



Конечноэлементная сетка для выполнения расчетов на трехмерной модели, использованная в работе, представлена на рисунке 4. В области нагрева сетка выполнена более плотной для повышения точности выполняемых программно расчетов.

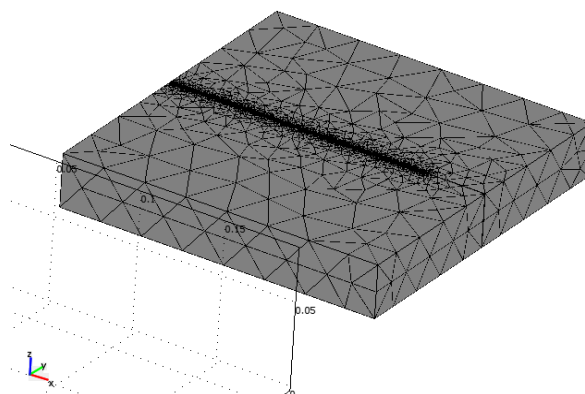


Рис. 4 – Сетка моделирования

Разработанная математическая модель распределения температуры при электронно-лучевом нагреве позволяет оценить влияние различных параметров процесса на степень нагрева и, как следствие, возникновение различных структур в обрабатываемом металле. На основании полученных результатов разработаны технологические рекомендации, направленные на получение определенных свойств обрабатываемого материала при помощи электронно-лучевого нагрева металла.

#### Список литературы

1. Судник В.А., Ерофеев В.А., Рихтер К.-Г., Хайнц К.-У.. Численная модель процесса электронно-лучевой сварки с экспериментальной проверкой / Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.2. 2008. – С. 233-243.
2. Павлов С., Янкович А. Multiphysics: многодисциплинарное моделирование металлургических магнитогидродинамических технологий // CAD/CAM/CAE observer #3 (47), 2009.
3. Ткаченко В.Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов // В.Н. Ткаченко, Киев: Наукова думка, 2008 г, 243 с.
4. Sudnik W.. Computerized simulation of laser beam welding, modeling and verification / W.Sudnik, D. Radaj, W. Erofeew // J. Phys. D: Appl. Phys. – 1996. – Vol. 29. – P. 2811 – 2817.
5. Демченко В.Ф. Численное моделирование тепломассопереноса и гидродинамики при электронно-лучевой переплаве титановых сплавов. Труды 2-й межд. конф. по математич. моделированию и инф. технологиям в сварке и родственным процессам / В.Ф. Демченко, А.Б. Лесной – Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. – 2004. – С. 71-76.
6. Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1978. - с. 17 - 25.
7. Багаев Б. М., Лаптенко В. Д. Моделирование температурных полей при электронно-лучевой сварке. // Физика и химия обработки материалов. - 1991. - N2.

05.13.06

**А.Х. Санакулов канд. техн. наук, И.Р. Ахметзянов, К.З. Фатыхов канд. физ.-мат. наук**

Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Набережночелнинский институт,  
отделение информационных технологий и энергетических систем,  
кафедра «электроэнергетика и электротехника»,  
Набережные Челны, askat51@mail.ru

### **УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УДАЛЕНИЕМ ЛЬДА С ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110КВ**

*В работе представлены метод и устройство для удаления льда с проводов воздушных линий электропередачи напряжением 110кВ, реагирующее на первые признаки их обледенения и осуществляющее плавку льда в автоматическом режиме без отключения потребителей от источника питания.*

*Ключевые слова: устройство для плавки льда; воздушная линия электропередачи; трансформатор; блок управления; датчик; тиристор; конденсаторная батарея.*

Для передачи электроэнергии на большие расстояния, распределения ее по потребителям благодаря относительно небольшой стоимости широко применяют воздушные линии электропередачи (ЛЭП). При эксплуатации воздушных линий (ВЛ) возникает проблема обледенения проводов в различных регионах России, когда в зимнее время года, осенне-зимний и весенне-зимний периоды происходит налипание мокрого снега на провода и образование гололедно - изморозевых отложений. Высокая влажность, ветер, резкие перепады температуры воздуха способствуют образованию наледи на проводах воздушных линий электрической сети. Толщина гололёда на них может достигать 50...70 мм, существенно утяжеляя провода. В результате значительного увеличения массы проводов и воздействующих на них динамических и статических нагрузок происходят опасные и нежелательные явления, особенно при сильном ветре. К их числу относятся обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов под тяжестью снега и льда, недопустимо близкое сближение проводов и их сильное раскачивание (так называемая «пляска»), ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор. Среднее время ликвидации гололедных аварий во много раз превышает среднее время ликвидации аварий, вызванных другими причинами [1, с.2]. Борьба с обледенением проводов линий электропередачи является серьёзной проблемой, актуальной для многих стран, имеющих регионы с высокой влажностью и низкими температурами.

Таким воздействиям не подвержены кабельные линии, но в силу своей дороговизны они преимущественно прокладываются в городских сетях.

На протяжении многих лет во всем мире целым рядом компаний и организаций активно ведутся исследования и разработки способов для борьбы с гололедом на линиях электропередачи [2]. Однако гололедные аварии в электрических сетях по-прежнему вызывают наиболее тяжелые последствия и периодически дезорганизуют электроснабжение в различных странах. По статистике в энергосистемах России по причине гололеда происходит от 6 до 8 крупных аварий в год.

Основные методы борьбы с гололедом, изморозью на проводах и тросах воздушных линий электропередачи, применяемые в России и других странах, заключаются в недопущении обледенений, уменьшении размеров и удалении гололедных отложений.

Механические способы, используемые чаще всего, заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов. Недостатком такого способа является низкая производительность и возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления отложений льда, что приводит к обрывам сети и сопровождается ускоренным износом проводов.

Электротермические способы удаления льда заключаются в нагреве проводов

электрическим током, обеспечивающим предотвращение образования льда, то есть профилактический подогрев или его плавку. Профилактический подогрев проводов заключается в искусственном повышении тока сети ЛЭП до такой величины, при которой провода нагреваются до температуры выше  $0^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре гололед на проводах не откладывается. Плавка гололеда на проводах осуществляется при уже образовавшемся гололеде путем искусственного повышения тока сети ЛЭП до такой величины ( $100\text{--}130^{\circ}\text{C}$ ), при которой выделяемой в проводах теплоты достаточно для расплавления гололеда с нормативной толщиной стенки при нормативных значениях температуры окружающей среды и скорости ветра. Сделать это проще всего, замкнув накоротко два провода, предварительно отключив от сети всех потребителей.

Каждый из применяемых в настоящее время способов борьбы с гололедом обладает определенными недостатками. Поэтому разработка эффективных, экономичных, безопасных устройств и методов, направленных на недопущение обледенений, снижение размеров и удаление гололедных отложений, остается актуальной задачей [3].

Авторами были предложены метод и автоматическое устройство для удаления льда с проводов воздушных линий электропередачи напряжением  $110\text{кВ}$  [4], схема которого показана на рисунке 1.

Работа устройства для удаления льда с проводов воздушных линий электропередачи напряжением  $110\text{ кВ}$  возможна благодаря использованию активных сопротивлений 1, подключённых в конце ВЛ к каждой фазе через силовые тиристоры 2 непосредственно к шинам подстанции 4. На опорах ВЛ установлены датчики веса 12, сигналы от которых поступают в блок управления БУ 8. В этот блок также поступают сигналы от датчиков температуры воздуха окружающей среды 13, датчиков температуры проводов ВЛ 16, трансформаторов тока ТТ 7 и трансформаторов напряжения ТН 3. При отсутствии гололеда на проводах ВЛ силовой тиристор 2 закрыт, ток через активное сопротивление 1 не протекает.

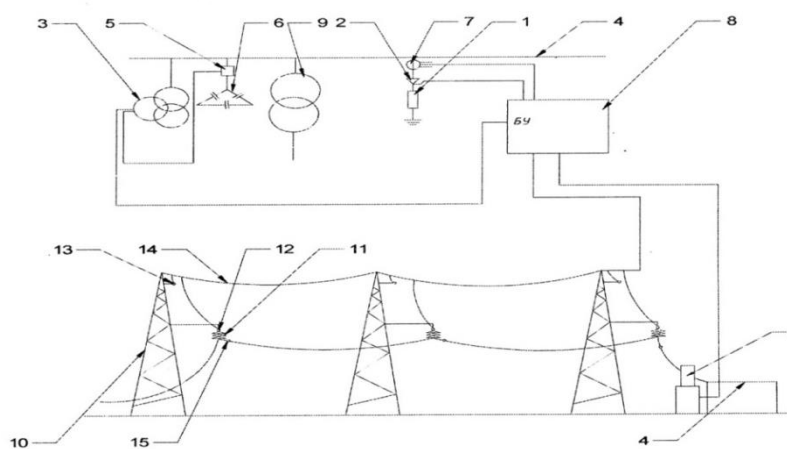


Рис. 1 Схема устройства для удаления льда на проводах ВЛ  $110\text{кВ}$ :

1 - активное сопротивление; 2 - силовой тиристор; 3 - трансформатор напряжения; 4 - шины подстанции; 5 - силовой выключатель; 6 - конденсаторные батареи; 7 - трансформатор тока; 8 - блок управления; 9 - силовой трансформатор; 10 - опора ВЛ; 11 - подвесные изоляторы; 12 - датчик веса; 13 - датчик температуры окружающей среды; 14 - канал связи; 15 - датчик температуры провода

Работа устройства для удаления льда с проводов воздушных линий электропередачи напряжением  $110\text{ кВ}$  возможна благодаря использованию активных сопротивлений 1, подключённых в конце ВЛ к каждой фазе через силовые тиристоры 2 непосредственно к шинам подстанции 4. На опорах ВЛ установлены датчики веса 12, сигналы от которых поступают в блок управления БУ 8. В этот блок также поступают сигналы от датчиков температуры воздуха окружающей среды 13, датчиков температуры проводов ВЛ 16, трансформаторов тока ТТ 7 и трансформаторов напряжения ТН 3. При отсутствии гололеда на проводах ВЛ силовой тиристор 2 закрыт, ток через активное сопротивление 1 не протекает.

При первых признаках появления гололеда на проводах ВЛ вес провода начинает увеличиваться, что приводит к срабатыванию датчика веса 12 и отправке сигнала о необходимости запуска системы плавки гололеда по каналу связи 14 к блоку управления 8. Величина тока, протекающего через активное сопротивление 1, изменяется в зависимости от степени обледенения проводов ВЛ за счет управления работой силового тиристора с помощью блока управления. Данный принцип управления силовым тиристором 2 позволяет получить стабильный ток перегрузки проводов ВЛ. Для обеспечения более эффективного процесса плавки и поддержания стабильной температуры на поверхности проводов служат соответственно датчики температуры проводов 15 и датчик температуры воздуха окружающей среды 13, а также трансформаторы тока ТТ 7, измеряющие токи, протекающие по проводам ВЛ и через активное сопротивление 1.

При увеличении токов в режиме плавки напряжение на шинах подстанций уменьшается, о чем трансформатор напряжения 3 информирует блок управления 8. Для поддержания нормативных значений напряжений предусмотрено включение конденсаторных установок ККУ 6, работой которых также управляет БУ 8.

Преимуществами предложения являются: - обеспечение процесса плавки без отключения линии, что повышает надежность электроснабжения потребителей; уменьшение тока плавки, что приводит к удешевлению процесса плавки гололеда на проводах ВЛ по сравнению с уже имеющимися методами плавки; поддержание стабильного напряжения на шинах подстанции в процессе удаления льда с проводов ВЛ; полная автоматизация процесса.

Использование устройства для удаления льда с проводов воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ, реагирующего при первых признаках их обледенения и осуществляющего плавку льда в автоматическом режиме без отключения потребителей от источника питания, повышает надежность их электроснабжения, исключая возможность обрывов проводов и обрушения при климатических условиях, способствующих возникновению гололеда. Существующее и выпускаемое промышленностью оборудование позволяет реализовать предлагаемое устройство плавки гололеда на ЛЭП напряжением до 110 кВ включительно.

#### **Список литературы**

1. *Левченко И.И.* Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах / И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И. Сацук / М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 494 с.
2. *Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А.* Способы удаления льда с проводов линий электропередачи. [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», №3, 2015. – С.794-823 : сайт.- <http://www.ogbus.ru> (дата обращения 15.03.2019)
3. *Санакулов А.Х.* Проблемы обледенения электрических и контактных сетей. Электронный журнал «Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация». Казань, К(П)ФУ, №2(69), 2016: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [kpfu.chelny/science/sets/archive/nomer-2-69-za-2016-god](http://kpfu.chelny/science/sets/archive/nomer-2-69-za-2016-god) (дата обращения 15.03.2019)
4. *Санакулов А.Х., Ахметзянов И.Р.* Устройство для удаления льда с проводов воздушных линий электропередач напряжением 110кВ // Патент России на полезную модель №172348. Зарегистрирован 05.07.2017 г.

05.13.06

**В.А. Соловьев д-р техн. наук, Н.Е. Дерюжкова канд. техн. наук,  
Чжо Аунг Хтет, В.В. Тетерин**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,  
электротехнический факультет,  
кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»,  
Комсомольск-на-Амуре, epapu@knastu.ru

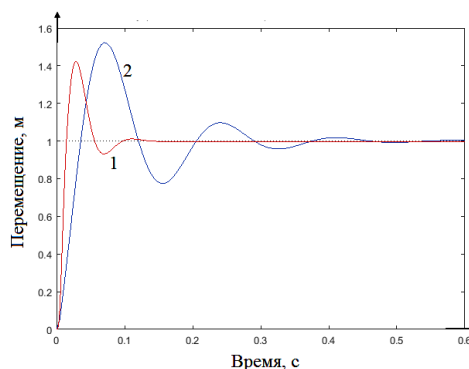
## **НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТЕРЖНЕВОЙ УСТАНОВКИ**

*В статье рассматривается вопрос применения нечеткого регулирования при управлении системой позиционных электроприводов стержневой установки. Реализованы нечеткие регуляторы положения и скорости. Проведено сравнение результатов работы системы с нечетким регулятором и с ПИ-регулятором. Моделирование системы выполнено в среде MatLAB.*

**Ключевые слова:** процесс формования, нечеткое регулирование, изгиб.

Исследования в области формования материалов посредством реконфигурируемой оснастки показывают, что в процессе придание детали необходимой формы, на привод формующих стержней воздействуют взаимовлияния от перемещений соседних стержней [1]. Данное взаимовлияние выражается в увеличении момента нагрузки на стержень, при одновременном перемещении соседних стержней. В реальности сценарий формования может быть любым, зависящий как от величины перемещения стержней, так и от их количества. Поэтому предугадать на какой из стержней будет оказываться взаимовлияние и определить величину этого взаимовлияния проблематично не только в области физического моделирования, но и математического. Стоит отметить и влияние на процесс формования скорости деформации (или скорость формования); превышение допустимых значений которой может привести к появлению дефектов на детали, а также чрезмерной перегрузке оборудования. Однако излишняя медлительность формующей установки приведет к увеличению временных затрат. Именно поэтому скорость линейного перемещения стержней была ограничена на уровне 15 мм/мин, что позволяет существенно снизить усилия формообразования и повысить показатель деформируемости материала [2].

Как известно, компенсировать вредное влияние взаимосвязи можно либо путем введения дополнительного канала [3], либо возложив дополнительную функциональную возможность на основной регулятор контура регулирования [4]. Первый подход ведет к усложнению системы регулирования, а передаточная функция компенсирующего канала не всегда физически реализуема. При использовании второго подхода от регулятора потребуются адаптация к изменению параметров контура регулирования. Необходимо отметить, что ряд параметров технологического процесса формования, оказывающих негативное влияние на точность позиционирования, не поддается количественной оценке, а может быть охарактеризован только качественными величинами (структура материала, распределение примесей в сплаве и т. п.). Для иллюстрации на рис.1 показана реакция системы управления позиционированием одного стержня, описанной в [1] при реализации пропорционально-интегрального закона регулирования, где в качестве возмущающего фактора выступает температура заготовки. Действительно при температуре ниже 700 °С при формовании повышается предел текучести и проявляется упрочнение заготовки, что ведет к существенному увеличению нагрузки.



1 – температура около 700 °C; 2 – температура ниже 200 °C

Рис. 1 – Переходная характеристика системы при различной температуре заготовки

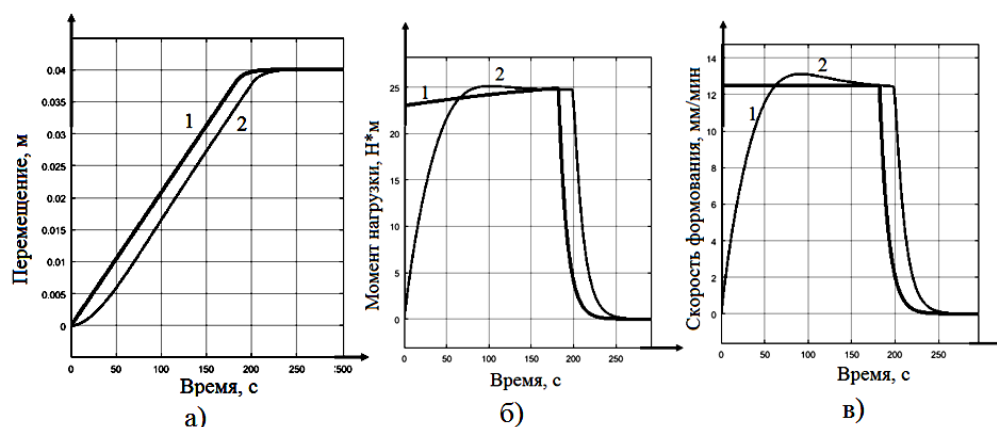
В итоге, при отклонении параметров объекта от оптимальных ПИ-регулятор отрабатывает сигнал задания с большим перерегулированием и временем переходного процесса, повышается колебательность системы. Кроме того не исключено, что при определенных параметрах объекта система потеряет устойчивость, а если же изменение параметров объекта регулирования характеризуется неполнотой информации, то о корректном поведении системы говорить затруднительно.

Задачу автоматической компенсации взаимовлияний вместе со стабилизацией выходного параметра можно перевести в область нечеткого управления. Нечеткое управление (управление на основе методов теории нечетких множеств) используется при недостаточном знании объекта управления, но наличии опыта управления им, в нелинейных системах, идентификация которых слишком трудоемка, а также в случаях, когда по условию задачи необходимо использовать знания эксперта.

При дальнейшем анализе будем опираться на взаимосвязанную систему позиционных электроприводов стержневой установки, приведенную в [1]. Нечеткое регулирование применим к контурам скорости и положения, контур тока из-за своего быстродействия остается без изменений. Нечеткий регулятор каждого контура состоит из трех основных блоков: блока фаззификации, блока нечеткого вывода и блока дефаззификации. В качестве алгоритма вывода используем алгоритм Такаги-Сугено.

Регулятор положения формирует сигнал управления, который позволяет выйти рабочему органу в заданное положение и не отклоняться от него при наличии возмущений. Задачу стабилизации скорости формования в оптимальных пределах 5-15 мм/мин может выполнить нечеткий регулятор скорости, который представляет собой П-регулятор с нечетким блоком ограничения регулируемой координаты. При одновременном перемещении формирующих стержней, их привода взаимосвязаны через общий объект управления, а именно формируемую заготовку, что ведет к увеличению момента нагрузки на привод. Т.е. необходимо отслеживать величину этих взаимовлияний, и, исходя из этого, соответственно ограничивать скорость формования. Известно, что момент нагрузки пропорционален току двигателя, коэффициент пропорциональности между которыми меняется в зависимости от наличия и уровня взаимовлияний. Однако измерение момента нагрузки имеет некоторые сложности, поэтому необходимая величина, регистрирующая уровень взаимовлияний между приводами была косвенно получена как отношение скорости двигателя к его току. Далее в зависимости от уровня взаимовлияний нечеткий регулятор скорости поддерживает скорость формования в заданных пределах. С целью предотвращения возможных скачков момента нагрузки на начальном этапе формования используется задатчик интенсивности.

Графики, иллюстрирующие работу каждого из контуров регулирования, приведены на рис. 2. Для сравнения на этих же графиках показаны аналогичные кривые при использовании ПИ – регулятора положения.



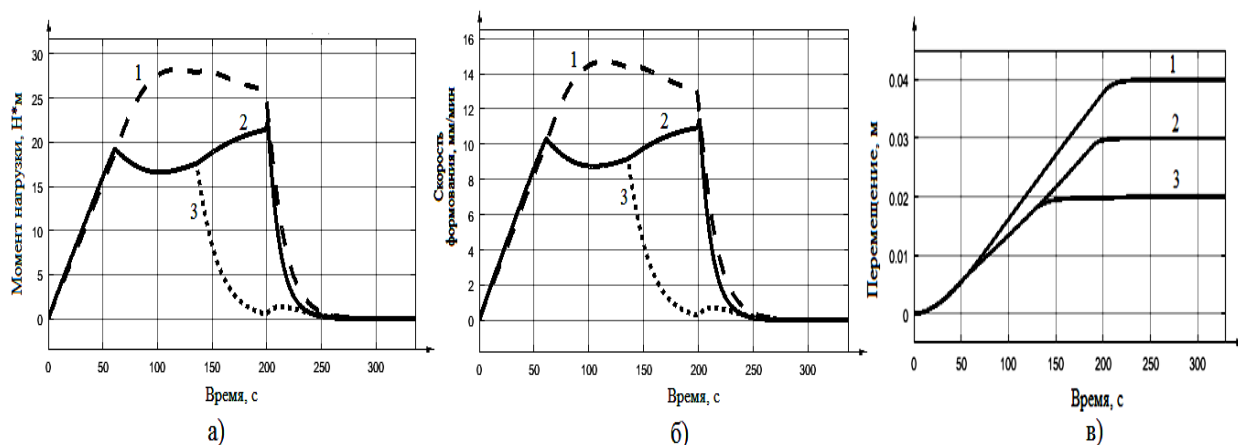
1 – ПИ-регулятор; 2 – нечеткий регулятор

Рис. 2 – Результаты моделирования

а – перемещение стержня; б – момент нагрузки приводов; в – скорость формования

Анализ полученных результатов позволяет констатировать, что система регулирования позиционным электроприводом с нечеткими регуляторами положения и скорости, синтезированными по предложенному алгоритму реализует заданные требования по точности и скорости перемещения формирующего стержня. Сравнение же с результатами работы системы с ПИ-регулятором положения указывает на некоторое увеличение времени формования, однако момент нагрузки лишен существенных скачков, что явно приводит к снижению динамической нагрузки на электропривод и формирующее оборудование. При этом скорость формования не превышает критического значения.

Далее рассмотрим использование предложенного подхода в системе из нескольких взаимосвязанных электроприводов. При моделировании рассматривалась система стержней, расположенных в виде матрицы оппозитно друг другу. При этом, для упрощения модели, анализу подвергалась система из трех центральных стержней, расположенных на одной линии. Максимальное перемещение стержня составляло 40 мм. Результаты моделирования системы представлены на рис. 3.



1 – центральный стержень; 2 – левый стержень; 3 – правый стержень

Рис. 3 – Результаты моделирования:

а – моменты нагрузки приводов; б – скорость формования; в – перемещение стержней

Анализ полученных кривых параметров электроприводов (скорости, момента, перемещения) показывают, что нечеткие регуляторы положения и скорости справляются с поставленными задачами регулирования координат приводов. Несмотря на наличие взаимовлияний, регуляторы выводят систему на заданный уровень. Кроме того, регулятор скорости удерживает скорость формования в заданных пределах, что положительно сказывается на качестве изделий и работе системы в целом.

Однако важно отметить, что настройка регуляторов требует наличия достаточных экспертных знаний о процессе формования. Дальнейшее совершенствование нечеткой взаимосвязанной системы позиционирования должно быть связано с исследованием процесса формования с целью сбора дополнительной информации об объекте регулирования, это позволит повысить качество управления системой позиционных приводов стержневой установки.

#### **Список литературы**

1. Исследование взаимосвязанной системы позиционных электроприводов стержневой установки / В. А. Соловьев [и др.] / Электропривод на транспорте и в промышленности: тр. II Всерос. науч.-практ. конф., Хабаровск, 20-21 сен. 2018 г. [под ред. С.В. Власевского]. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2018.
2. Миодушевский П.В., Раевская Г.А., Соснин О.В. Способ формообразования деталей и устройство для его осуществления: патент РФ №2056197. – опуб. 20.03.1996.
3. Морговский Ю.А., Рубаишкин И.Б., Гольдин Я.Г. Взаимосвязанные системы электропривода. – Л. : Энергия, 1972.
4. Морозовский В.Т. Многосвязанные системы автоматического регулирования. – М. : Энергия, 1970.
5. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К. : Радиоаматор, 2008.
6. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М. : АCADEMA, 2006.



05.13.06

**Ш.Ш. Хузятов канд. техн. наук, Р.А. Валиев канд. физ.-мат. наук, Л.Б. Хузятова**

Казанский федеральный университет,  
Набережночелнинский институт,  
кафедра информационных систем,  
Набережные Челны, huzjatov@mail.ru

### **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КОНФИГУРИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Предложен метод автоматизированного конфигурирования объектов проекта диспетчерского управления, который характеризуется большим количеством параметров и данных, а также их многообразной взаимосвязью. Система, реализованная на основе предложенного метода, конфигурирует статические и динамические свойства объектов экрана процесса, создает обработчики событий графических объектов, а также определяет архивные теги и условия появления аварийных сообщений.*

*Ключевые слова: автоматизированная система управления, конфигурирование, шаблонное проектирование, диспетчерское управление.*

Использование современных средств разработки программного обеспечения для контроллеров и SCADA-систем упрощает процесс разработки программного обеспечения [1]. В случаях, когда система управления имеет большое количество однотипных датчиков и исполнительных устройств, дополнительного упрощения процесса разработки программного обеспечения можно добиться путем применения методики паттерн проектирования [2 – 4]. Согласно этой методике в таких шаблонных проектах predetermined структура и функциональность объектов программного обеспечения.

Шаблонный проект содержит экран объектов, в котором представлены графические объекты типовых датчиков и исполнительных устройств. На основе этих графических объектов создается мнемосхема технологического процесса [5], после чего необходимо конфигурировать объекты проекта, который характеризуется большим количеством параметров и данных, а также их многообразной взаимосвязью [6]. При этом необходимо конфигурировать статические и динамические свойства объектов экрана процесса, создать обработчиков событий графических объектов, а также определить архивные теги и условия появления аварийных сообщений.

Процесс конфигурирования проекта усложняется большим количеством объектов системы управления и необходимостью использования различных компонентов SCADA-системы WinCC. С другой стороны, типовые объекты проекта характеризуются одинаковыми настройками. Поэтому решением проблемы является разработка системы автоматизированного конфигурирования объектов программного обеспечения, созданного на основе шаблонного проекта.

Автоматизированный конфигуратор базируется на условии выполнения определенных правил. Для установления соответствия между мнемосхемой и программным кодом, и конфигурирования графических объектов с помощью цикла в программе, предлагается при создании мнемосхемы имена однотипных графических объектов формировать в виде элементов массива. Например, имена графических объектов мнемосхемы можно обозначить как An[1], An[2], An[3] для аналоговых сигналов, Valve[1], Valve[2], Valve[3] для задвижек, M[1], M[2], M[3] для двигателей насосов и т.д.

На начальном этапе конфигурирования путем фильтрации объектов коллекции ActiveDocument.NMIObjects создаются таблицы однотипных объектов мнемосхемы. Для каждого типа графического объекта создается отдельная таблица, так как они

характеризуются собственным перечнем свойств и обработчиков событий. В дальнейшем эти таблицы заполняются значениями статических и динамических свойств графических объектов (таблица). На основе данных из этих таблиц конфигурируются статические свойства графических объектов мнемосхемы.

Таблица – Основные свойства графического объекта мнемосхемы

Имя графического объекта	Объект управления	Единица измерения	Частота обновления (мс)	Архивный тег	Контроль аварийных уровней
An[1]	Задвижка	%	200	Да	Нет
An[2]	Насос	Атм	250	Нет	Да
An[3]	Сепаратор	м	1000	Да	Да
An[4]	Емкость	°С	1000	Да	Да

Для создания динамических свойств графического объекта применяется метод CreateDynamic графического объекта и затем определяется частота обновления значения динамического свойства. Для определения обработчика события графического объекта вначале выбирается событие из коллекции Events и затем с помощью метода AddAction добавляется VB-скрипт или C-скрипт в коллекцию обработчиков событий Actions.

Конфигурирование статических и динамических свойств, а также определение обработчиков событий реализуются отдельными модулями конфигуратора (Рис. 1).

Для создания и конфигурирования архивных тегов и аварийных сообщений применяется методы класса NMIGO. Так же, как и в случае графических объектов, список архивных тегов и условия появления аварийных сообщений формируются в виде отдельных таблиц. Заполненные таблицы в дальнейшем обрабатываются соответствующими модулями конфигуратора.

Предложенный метод автоматизированного конфигурирования объектов WinCC проекта реализован в виде VBA-приложения. Входными данными этого приложения являются таблицы, которые содержат свойства однотипных объектов проекта WinCC.

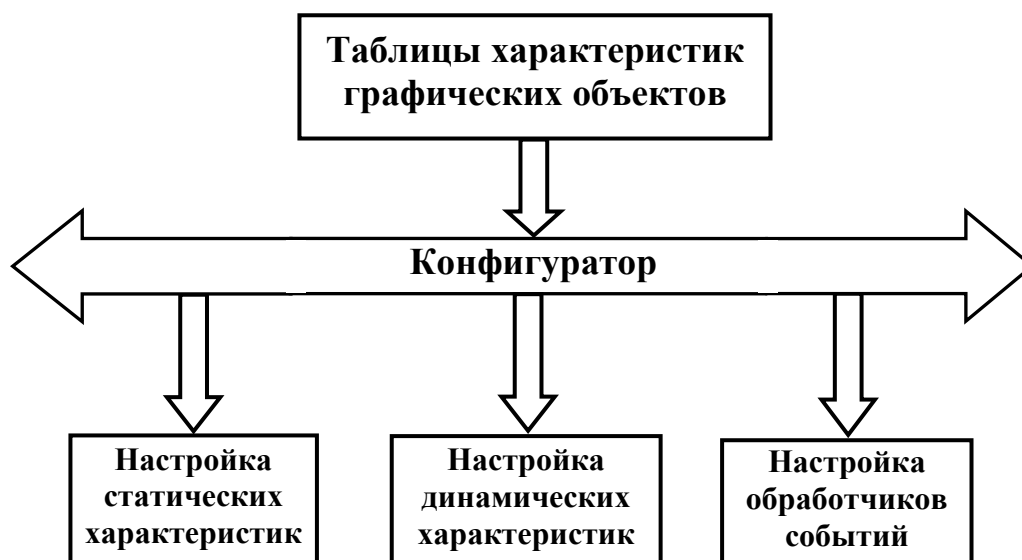


Рис. 1 – Конфигурирование однотипного графического объекта основного экрана процесса

Пользовательский интерфейс конфигуратора проектирован в виде «гида» для разработчика, который представляет собой трехуровневую иерархию окон. Главное окно конфигуратора позволяет выбрать вид выполняемых действий: конфигурирование графических объектов, конфигурирование архивных тегов, конфигурирование условий появления аварийных сообщений.

Выбор типов графических объектов мнемосхемы осуществляется в окне второго уровня иерархии конфигуратора. После выбора конкретного типа графического объекта система переходит в окно третьего уровня, которое позволяет конфигурировать статические и динамические свойства графического объекта, а также определить обработчики событий согласно таблицам свойств.

Применение независимых таблиц для конфигурирования объектов проекта имеет еще одно достоинство: при изменении состава проекта достаточно загрузить таблицу с новыми данными с помощью конфигуратора. Фиксация даты и времени в проекте дает возможность контролировать эти изменения.

Метод автоматизированного конфигурирования объектов WinCC проекта целесообразен при разработке программного обеспечения системы диспетчерского управления, где применяется большое количество однотипных датчиков и исполнительных устройств. Использование этой автоматизированной системы конфигурирования освобождает разработчика от выполнения рутинных однотипных работ, позволяет значительно сократить время разработки и внедрения АСУ ТП, требует меньшей квалификации разработчиков программного обеспечения, что, в конечном счете, снижает стоимость проекта.

Преимуществом предложенного метода является также применение независимых таблиц для конфигурирования, что позволяет осуществлять групповое формирование и редактирование всех свойств объектов проекта. Сохранение характеристик всех однотипных объектов проекта в одной таблице предоставляет также дополнительную возможность использования этих таблиц при составлении спецификации проекта и заказе компонентов проекта.

Данная система конфигурирования использована для автоматизированной настройки систем диспетчерского управления объектов нефтедобычи. Предложенный метод является универсальным, что позволяет использовать его при автоматизации аналогичных объектов предприятий другой отрасли.

#### Список литературы

1. *Reeser J., Jankowski T., Kemper G.M.* Maintaining HMI and SCADA systems through computer virtualization // *IEEE Transaction on Industry Application*, 2015. – Vol. 51. – iss. 3. – P. 2558-2564.
2. *Valiev R.A., S.S. Khuziyatov.* Pattern-design software of automated control systems // in *Proc. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM*, 2016. – A.n. 7910942.
3. *Iliukhin A.N., Khuziyatov S.S., Valiev R.A.* Unified approach to software development of automated control systems for oil equipment. *HELIX*, 2017. – vol. 8, iss. 1. – P. 2455–2459.
4. *M. Khalil.* Pattern-based methods for model-based safety-critical software architecture design // *Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings – Series of the Gesellschaft fur Informatik (GI)*, 2013. – P. 493-499.
5. *Илюхин А.Н., Хузятов Ш.Ш., Валиев Р.А.* Методика разработки системы диспетчерского управления для объектов нефтедобычи // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2018. – N 5. – С. 214–216.
6. *Khuziyatov S.S., Valiev R.A.* Organization of data exchange through the Modbus network between the SIMATIC S7 PLC and field devices // *2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 – Proceedings*. – 2017. – A.n. 8076369.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ —  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ  
МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)**

05.13.11

**М.В. Беленко, Н.С. Бурым, П.В. Балакшин канд. техн. наук**

Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
Санкт-Петербург, mikael0bmv@gmail.com

**СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА  
РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ**

*В рамках работы был проведенное исследование современных систем автоматического распознавания речи. Определены системы, позволяющие изменять конфигурацию параметров. Продемонстрированы различия в конфигурации параметров систем с открытым исходным кодом. Предложен способ использования Docker-контейнеров для унификации запуска систем распознавания и дальнейшего сравнения таких систем между собой. Выбраны метрики, позволяющие эффективно оценивать качество распознавания речи. В результате сформированы функциональные требования и предложено архитектурное решение для системы автоматизации тестирования и анализа систем распознавания речи.*

*Ключевые слова: распознавание речи, ASR, Kaldi, CMU Sphinx, тестирование, конфигурация*

Распознавание речи является одной из ключевых частей взаимодействия человека с компьютером. Однако качество распознавания, демонстрируемое существующими автоматизированными системами распознавания речи, не достигло высокого уровня и во многих отношениях является частью маркетинговой кампании. В частности, дефекты проявляются при анализе спонтанной речи говорящего [1], а также внешних шумов и дефектов, неполных предложений и т.д. [2]. В связи с этим, внимания заслуживает задача моделирования и оценки, в какой степени окружающая акустическая среда влияет на качество распознавания системой автоматического распознавания речи (англ. Automatic Speech Recognition – ASR). Становится очевидным необходимость разработки архитектуры и дальнейшей реализации некоторого программного решения для простого и быстрого тестирования существующих системы распознавания речи. В отличие от существующих различных утилит, конфигурационных сценариев и исполняемых файлов, такой способ (программный продукт) позволит пользователям настраивать и использовать единый интерфейс для управления всеми операциями, осуществлявшимися в процессе тестирования ASR. Разрабатываемый продукт необходим для тестирования ASR, чтобы определить их оптимальную конфигурацию и улучшить качество распознавания речи [3].

Таким образом целью данной работы является исследование и реализация способа автоматизации тестирования, анализа, отладки и настройки различных систем автоматического распознавания речи диктора. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Аналитический обзор существующих систем распознавания речи на предмет возможности их использования в разрабатываемом приложении автоматизации тестирования различных ASR.
- Обзор существующих решений в сфере автоматизации и конфигурирования существующего программного обеспечения для распознавания, синтеза и анализа звука.
- Анализ и приведение представления данных используемых в ASR (языковые модели, голосовые модели и т.д.) к единому виду.

- Проектирование архитектуры и разработка прототипа системы автоматизации тестирования и анализа ASR.

В соответствии с задачами был проведён обзор существующих ASR и различных Speech Toolkit с открытым и закрытым исходным кодом. Были рассмотрены журнальные статьи, материалы научно-технических конференций и специализированные интернет-форумы, которые содержат информацию о сравнении и использовании современных и популярных ASR и Speech Toolkit [4]. Анализ проводился с точки зрения поддерживаемых языков распознавания, моделей обучения и тестирования, удобства и полноты документации, поддержки на форумах, патентов, лицензий на использование и настройки алгоритмов и методов распознавания. Также была проанализирована способность существующих ASR к автоматизации настройки алгоритмов распознавания речи и идентификации метрик качества для дальнейшей интеграции в программные и аппаратные платформы тестирования, а также для сравнительного анализа диалоговых интеллектуальных систем. Были рассмотрены 16 систем: Baidu, Python Speech Recognition, Kaldi, Julius, HTK, Facebook Wav2Letter, iAtros (PRHLT), RWTH, Praat, Espnet, CMU Sphinx, IBM Watson и ряд других [5, 6]. Все системы обеспечивают возможность распознавания английской речи, но поддержка русского языка имеется лишь в некоторых из указанных ASR.

Большинство из указанных систем в первую очередь предназначены для распознавания речи, и лишь во вторую – для обработки и анализа аудиосигнала. Однако для полноценного многократного использования Speech Toolkit должен обладать возможностью быстрого и относительно несложного изменения параметров. Поэтому ряд систем был исключён из дальнейшего анализа. Baidu работает в виде облачной ASR, которая предоставляет разработчику REST API, Espnet использует скомпилированную систему Kaldi в качестве отдельного ASR модуля, а Praat – это прежде всего набор инструментов для работы со звуком. Система HTK, разработанная в Кембриджском университете в 1993 году, последний раз обновлялась в 2016 году и использует ряд неактуальных алгоритмов распознавания. В дополнение к этому в настоящее время не существует готовой к использованию полноценной языковой модели, которую можно было бы легко и эффективно использовать в разрабатываемом программном продукте.

Была рассмотрена возможность использования ASR с закрытым исходным кодом для сравнения результатов: Google Cloud Speech API, Microsoft speech recognition kit (Azure-Samples), Yandex SpeechKit. Каждая из этих систем поддерживает русский язык и имеет версию, называемую бесплатной [7]. Однако для использования требуется некоторая валидация в кабинете разработчика (например, с указанием банковской карты) для получения API-ключа и осуществления любого, даже краткосрочного теста. В дополнение накладываются ограничения на максимальный размер аудио-файла, числа запросов в сутки [7, 8] и т.д. Таким образом, можно сделать вывод о недостаточной целесообразности использования ASR с закрытым исходным кодом для регулярного использования, тестирования и сравнения с аналогами, имеющими открытый исходный код.

В результате был сформирован итоговый список систем автоматического распознавания речи для дальнейшей работы: CMU Sphinx, DeepSpeech, Facebook Wav2Letter, IBM Watson, Julius, Kaldi, RWTH.

Для дальнейшего сравнения систем распознавания речи выбраны две основные [5] и две дополнительные [9] метрики качества распознавания:

- Word Error Rate (WER);
- Speed Factor/Real-Time Factor (SF/RTF);
- Character Error Rate;
- Concept Error Rate.

Это было сделано по нескольким причинам. Во-первых, данные метрики достаточно точно отражают качество и скорость распознавания. Во-вторых, расчёт данных метрик поддерживается некоторыми из рассматриваемых систем, и, получая результаты не только извне, но и изнутри тестируемой системы, можно более точно рассчитать требуемые

метрики. Лидером в этом аспекте является система Kaldi.

Затем было проведено сравнение современных архитектур программного обеспечения, которые наиболее эффективно позволяют использовать функциональные возможности ASR [10]. Для разрабатываемой системы был определен ряд требований:

- возможность добавления новых ASR без повторной сборки и разворачивания системы;
- возможность унификации параметров конфигурации различных ASR;
- логирование процесса выполнения и сохранение результатов испытаний;
- высокая масштабируемость.

Для создания программного обеспечения для автоматизации анализа системы распознавания речи был определен технологический стек и спроектирована архитектура соответствующего программного комплекса. Разрабатываемая система имеет модульную архитектуру, где каждая ASR представлена отдельным модулем, как правило, реализованным в виде Docker-контейнера [11]. Ядро программного обеспечения реализовано в виде клиент-серверного веб-приложения. Связь между модулями ASR и ядром осуществляется с помощью адаптеров, которые подключаются к ядру в процессе выполнения, что позволяет расширять систему без остановки и повторной инициализации. Помимо обеспечения канала связи для обмена информацией между ядром системы и ASR, адаптеры также осуществляют приведение параметров конфигурации различных ASR к единому виду, за счёт чего достигается унификация, и появляется возможность оценить поведение разных систем при одинаковых настройках. Также, благодаря этому появляется возможность гибкого взаимодействия с ASR, и в систему могут быть легко подключены системы с различными интерфейсами.

Рассмотрим работу адаптеров на примере систем Kaldi и CMU Sphinx. Ниже представлена таблица, показывающая соответствие некоторых параметров конфигурации этих систем.

Таблица. Пример параметров конфигурации систем Kaldi и CMU Sphinx

<b>Kaldi</b>	<b>Sphinx</b>
--cepstral-lifter	frontend.pipeline.lifter.lifterValue (Int)
--dither	frontend.pipeline.dither.maxDither (Double) frontend.pipeline.dither.upperValueBound (Double) frontend.pipeline.dither.lowerValueBound (Double) frontend.pipeline.dither.useRandSeed (Bool)
--frame-length	frontend.pipeline.speechClassifier.frameLengthInMs (Int)
--preemphasis-coefficient	frontend.pipeline.preemphasizer.factor (Double)
--sample-frequency	sampleRate (Int)
--beam	absoluteBeamWidth (Int) relativeBeamWidth (Double) absoluteWordBeamWidth (Int) relativeWordBeamWidth (Double)

Как видно из таблицы, параметры отличаются как названиями, так и уровнем вложенности в структуре конфигурации. Также для данных систем различается сам процесс конфигурации. Для Kaldi конфигурация осуществляется с помощью аргументов командной строки, CMU Sphinx конфигурируется с помощью java-библиотеки. Для подключения данных систем к ядру были реализованы адаптеры, преобразующие конфигурации из внутреннего формата в форматы систем, а затем конфигурирующие их через соответствующий интерфейс. Аналогичная ситуация с разным подходом к конфигурации и в других ASR. Более того, часть параметров используется при общей конфигурации системы, часть для описания акустической модели, часть для обучения, часть для оценки речи и т.д.

Обобщенная схема разрабатываемой системы представлена на рисунке.

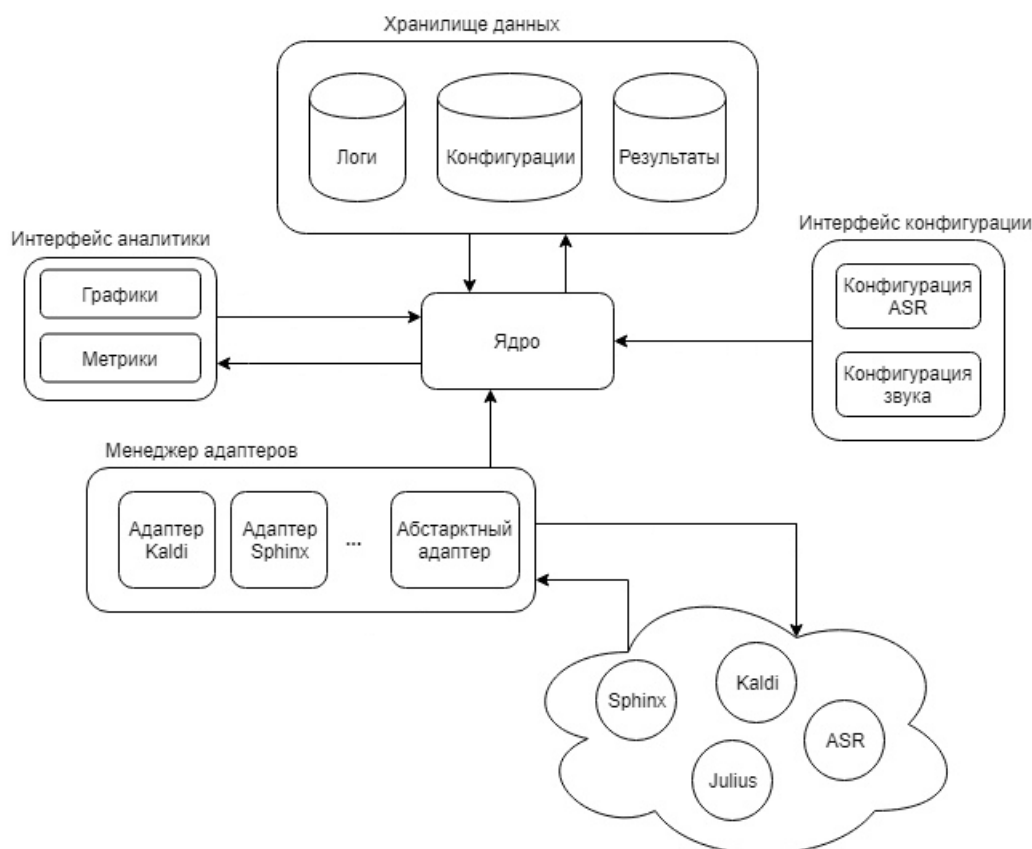


Рис. – Схема разрабатываемой системы

В результате был реализован прототип программного продукта для анализа автоматизированных инструментов системы распознавания речи, включающий визуализацию, настройку и логирование. Разрабатываемое программное решение позволит анализировать и сравнивать различные системы распознавания речи в одном приложении, предоставляя пользователям следующие функции:

- конфигурирование системы распознавания речи (ASR);
- возможность запуска тестов на произвольных данных;
- воспроизводимость результатов благодаря возможности повторного запуска;
- запись логов тестирования;
- автоматический расчет выбранных метрик по результатам тестирования.

В рамках работы были рассмотрены различные системы автоматического распознавания речи. Выбраны системы (ASR), которые можно использовать как для сравнения с другими, так и для непосредственно распознавания. Предложен способ и спроектирована архитектура программного решения, позволяющая автоматизировать работу с ASR. Разработан прототип, реализующий базовые функции по запуску систем распознавания. Далее в ходе исследования планируется расширить программный продукт большим числом ASR и метрик для их анализа, реализовать возможность сохранения результатов исследования и отдельных этапов обработки аудиосигнала, поддерживать конфигурацию не только распознавания, но и обучения моделей, обеспечить возможность работы в распределённом окружении.

**Список литературы**

1. *Raza, A.A., Athar, A., Randhawa, S. et al.* Rapid Collection of Spontaneous Speech Corpora Using Telephonic Community Forums // *Proc. Interspeech 2018.* – 2018. – P. 1021-1025. DOI: 10.21437/Interspeech.2018-1139.
2. *Le Prell, C., Clavier, O.* Effects of noise on speech recognition: Challenges for communication by service members // *Hearing Research.* – 2017. Vol. 349, June. – P. 76-89. DOI: 10.1016/j.heares.2016.10.004
3. *Devi, V., Suganya, V.* An Analysis on Types of Speech Recognition and Algorithm // *International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCST).* – 2016. Vol. 4, Iss. 2. Mar-Apr. – P. 350-355.
4. *Kěpuska, V., Bohouta, G.* Comparing Speech Recognition Systems (Microsoft API, Google API And CMU Sphinx) // *Int. Journal of Engineering Research and Application.* – 2017. Vol. 7 (3), (Part -2), March. – P. 20-24.
5. *Беленко М.В., Балакишин П.В.* СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2017. № 04 (58). Часть 4. – С. 13-18.
6. The Best Voice Recognition Software For 2018, March 26th, 2018. URL: <https://www.business.com/categories/best-voice-recognition-software/> (дата обращения 17.04.2019).
7. *Малых Д.А., Кириллова Ю.С.* Система управления устройствами «умного дома» с использованием голосовых команд // *Молодой ученый.* – 2017. №19. – С. 60-64.
8. *Ремизова Д.А.* Задача распознавания речи и выбор оптимального сервиса для использования в программно-аппаратном комплексе «Умное зеркало» // *Молодой ученый.* – 2017. №23. – С. 109-111.
9. *Hirschberg J.* ASR Evaluation. CS 4706. URL: <http://www.cs.columbia.edu/~julia/courses/CS4706/asreval.pdf> (дата обращения: 17.04.2019).
10. *Беленко М.В., Балакишин П.В.* АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОРТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ МЕЖДУ СИСТЕМАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2018. №. 5. – С. 169-171.
11. Docker. Enterprise Container Platform for High-Velocity Innovation. URL: <https://www.docker.com/> (дата обращения: 17.04.2019).



05.13.11

**Д.В. Горбачев канд. техн. наук, О.Ю. Кузнецов, О.А. Ямников**

Оренбургский государственный университет,  
кафедра программного обеспечения вычислительной техники автоматизированных систем,  
Оренбург, gordi47@mail.ru

### **ДИСКРЕТНО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ ПАЦИЕНТА**

*Обеспечение высококачественной медицинской помощи – это одна из приоритетных и актуальных задач управления медицинской организацией. Процессы управления в современной больнице сложны и многоаспектны в связи с чем, их исследование, как правило, проходит в слабо формализуемой среде. Преимущественно, такой средой являются структурно-функциональные модели, дающие лишь общее представление о процессах медицинской организации. Между тем, поскольку основная деятельность медицинской организации направлена на оказание медицинской помощи, и основным действующим лицом в этом процессе является пациент, важным является знание всеми уровнями управления его текущего состояния и прогнозов возможных изменений этих состояний. Традиционно врач при составлении прогноза лечения заболевания опирается на требования стандартов и порядков оказания медицинской помощи, а также на свой опыт и существующую статистику. Предлагаемый в данной работе подход позволяет формализовать пространство состояний пациента и определить область вероятных исходов лечения.*

*Ключевые слова: медицинский эффект, исходы лечения, пациент, врач, тяжесть заболевания, граф состояний, матрица переходов, модель пациента, стохастические продукции.*

#### **Введение**

Эффективность медицинской помощи выражается комплексом количественных и качественных показателей медицинского обеспечения [1]. При этом именно качественные показатели играют определяющую роль в оценке этой эффективности, поскольку они характеризуют состояние здоровья больных с одними и теми же заболеваниями и примерно одного уровня тяжести, до поступления в стационар, после выписки из стационара и при полном выздоровлении. Величина медицинского эффекта может быть определена путем сравнения продолжительности лечения больного в различных условиях оказания медицинской помощи. Особую значимость имеет обладание врачом всем набором данных как о пациенте, так о нозологии заболевания и методике его диагностики и лечения.

#### **Постановка задачи**

В модели классификации показателей лечебно-диагностического процесса (ЛДП) [2] введена группа частных показателей, позволяющих оценить эффективность работы медицинской организации.

Одним из таких показателей является «Доля достижения целевых исходов лечения» [3].

В конкретной ситуации, в ходе лечения заболевания, состояние пациента предлагается измерять мерой степени тяжести заболевания  $x_i \in X, i = 1 \dots 6$  [2].

Изменения в состоянии пациента иллюстрируются с графом, приведенным на рисунке 1. Основной задачей данной работы является определение пространства состояний пациента и вероятности попадания пациента в эти состояния.

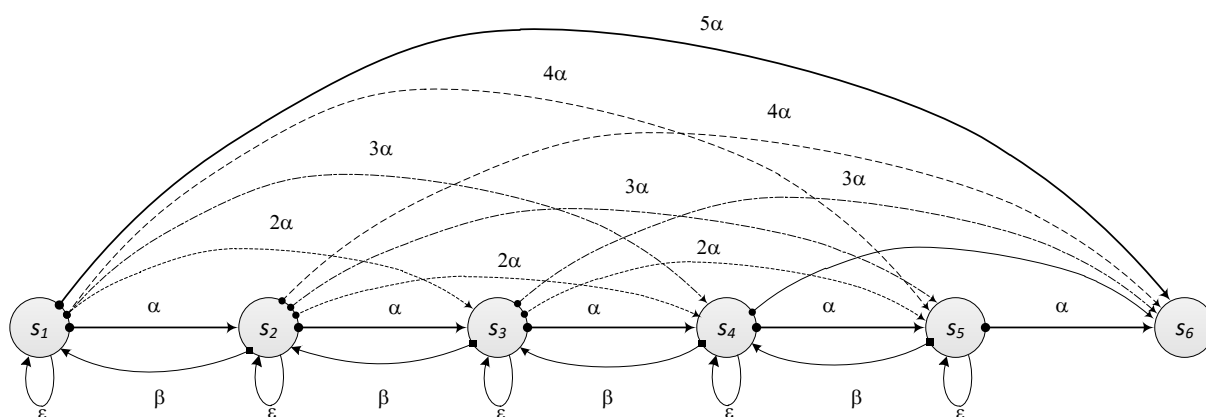


Рис. 1 – Модель пространства состояний пациента в ходе лечения заболевания

где  $\alpha$  – если есть переход из  $s_i$  в  $s_j$ ;  $\beta$  – если имеет место переход из  $s_j$  в  $s_i$ ;  $\varepsilon$  – для случая  $s_{ii}$ .

Движение пациента в пространстве состояний и этапность оказания медицинской помощи осуществляется в соответствии со схемой маршрутизации [например, 3, 4]. Схема маршрутизации характеризует медицинскую технологию, применяемую для лечения заболевания.

В предлагаемой модели считается, что заболевание может развиваться как постепенно – последовательное повышение степени тяжести болезни (развитие осложнений, обострение), так и «скачкообразно» – резкое ухудшение состояния здоровья пациента и, следовательно, резкое увеличение степени тяжести заболевания, вплоть до летального исхода. Также в модели предполагается, что лечение заболевания осуществляется только последовательно: улучшение состояния при высокой степени тяжести заболевания последовательно проходит среднюю, легкую и далее до выздоровления.

### Граф состояний пациента

Применение той или иной медицинской технологии лечения заболевания влечет облегчение степени тяжести заболевания и определенный исход, наиболее предпочтительным из которых является  $u_1$  – «Восстановление здоровья».

Пациент может находиться в состоянии  $s_i \in S$ ,  $i = 1, \dots, n$  с вероятностью  $p_i(s_i)$ . При заболевании происходят изменения состояния пациента – переходы из  $s_i$  в  $s_j$ , с вероятностью  $p_{ij}$ , при прогрессировании заболевания, и из  $s_j$  в  $s_i$  с вероятностью  $p_{ji}$ , при выздоровлении.

Матрица переходов  $P$  для  $n = 1, \dots, 6$  имеет вид:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{16} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{16} & \dots & \dots & p_{66} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

При этом, справа от главной диагонали матрицы располагаются вероятности соответствующие ухудшению состояния пациента, справа – вероятности соответствующие улучшению состояния пациента. Поскольку при лечении заболевания происходит последовательная смена состояний (улучшение здоровья), то вероятности  $p_{31}, \dots, p_{51}, p_{42}, \dots, p_{52}, p_{53}$ , не могут иметь места, а вероятности  $p_{61}, \dots, p_{66}$  – не имеют смысла. Поэтому матрицу  $P$  можно записать следующим образом:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} \\ & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} \\ & & p_{43} & p_{44} & p_{45} & p_{46} \\ & & & p_{54} & p_{55} & p_{56} \\ & & & & & p_{66} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для пары соседних состояний  $s_1$  и  $s_2$ ,  $p_\alpha + p_\beta = 1$ . Однако возможны переходы вида  $s_1 \rightarrow s_3$ , тогда будет иметь место  $2p_\alpha + 2p_\beta = 1$ . В общем виде можно записать:

$$(n-1)p_\alpha + (n-2)p_\beta = 1.$$

Для случая  $s_{ii}, p_i(s_i) = p_\varepsilon$ .

Таким образом, приведенные описания предметной области позволяют классифицировать процессы в ней, как дискретно-стохастические.

### Моделирование пространства состояний пациента

Рассмотрим конечный стохастический автомат  $A_S$

$$A_S = \{X, Y, M, p_0, F\},$$

где  $x = \{\alpha, \beta, \varepsilon\}$ ;  $y = \{y_1, \dots, y_6\}$ ;  $p_0 = \|1, 0, 0, 0, 0, 0\|$ ;  $F = \{y_1\}$ ;  $p_F = \|1, 0, 0, 0, 0, 0\|$ ;  $M = \{M(\alpha), M(\beta), M(\varepsilon)\}$

$$M(\alpha) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} \\ 0 & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} \\ 0 & 0 & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} \\ 0 & 0 & 0 & p_{44} & p_{45} & p_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{55} & p_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$M(\beta) = \|p_{54} \quad p_{43} \quad p_{32} \quad p_{21}\|^T,$$

$$M(\varepsilon) = \|p_{11} \quad p_{22} \quad p_{33} \quad p_{44} \quad p_{55}\|.$$

В контексте задачи исследования  $M(\alpha)$  может рассматриваться, как матрица ухудшения состояния пациента,  $M(\beta)$  – матрица выздоровления,  $M(\varepsilon)$  – матрица стабильного состояния пациента.

Язык, допускаемый этим автоматом – это множество пар вида:

$$L_1(A_S) = \{(\alpha^m \beta^n \varepsilon), p(\alpha^m \beta^n \varepsilon)\},$$

где  $m=k, n=k-1$ .

$$p(\alpha^m \beta^n \varepsilon) = 1 - [(k-1)p_\alpha] = 1 - [(k-2)p_\beta],$$

$$\begin{cases} 1 - [(k-1)p_\alpha], & \text{при } k_i > k_{i-1} - \text{ухудшение состояния;} \\ 1 - [(k-2)p_\beta], & \text{при } k_i < k_{i-1} - \text{улучшение состояния;} \\ p_\varepsilon = 1, & \text{при } k_i = k_{i-1} - \text{стабилизация состояния.} \end{cases}$$

При синтезе языка  $L_1(A_S)$  стохастического автомата имеют место задачи порождения цепочек символов. Решение данной задачи основывается на формальных грамматиках, с дополнительной рандомизацией выбора продукций в грамматиках [6].

Стохастическом языком  $L(G_S)$ , порождаемым грамматикой  $G_S$ , называется множество пар:

$$L(G_S) = \left\{ (c, p(c)) \mid c \in X_T^*; s_i \xrightarrow{p_i}^* c, p(c) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k p_{0i} p_{ij} \right\}, i$$

где  $p_{0i}$  – вероятность появления  $i$ -го начального символа;

$p_{ij}$  – вероятность  $j$ -го вывода цепочки  $s$  из символа  $s_i$ .

Теперь после определения стохастической грамматики  $G_S$  стохастический автомат  $A_S$  определим следующим образом.

$A_S$  – стохастический автомат, определяемый матрицей переходов согласно (3). Стохастическая грамматика этого автомата имеет вид:

$$G_S = (X_T, X_N, P_S, S_0, p_0),$$

где  $X_T = \{\alpha, \beta, \varepsilon\}$ ;  $X_N = \{S\}$ ;  $p_0 = 1$ ;  $S_0 = \{s\}$ ,

а стохастические продукции имеют вид:

$$\begin{aligned} S &\xrightarrow{p_\alpha} \alpha S; \\ S &\xrightarrow{p_\beta} \beta S; \\ S &\xrightarrow{p_\varepsilon} \varepsilon S. \end{aligned}$$

Данная грамматика порождает язык:

$$L(G_S) = (\alpha^n \beta^m \varepsilon, \{p_\alpha^n \cdot p_\beta^m \cdot p_\varepsilon\}).$$

Модель автомата  $A_S$  является граф  $\Gamma(A_S)$  (см. рис. 1).

Пример. Рассмотрим случай поступления пациента в медицинскую организацию в

состоянии средней тяжести –  $s_3$ . В этом случае возможны следующие продукции:

$$\begin{array}{ll} S_3 \xrightarrow{p_\alpha} \alpha S_4; & S_3 \xrightarrow{p_\beta} \beta S_2; \\ S_3 \xrightarrow{2p_\alpha} (\alpha + \alpha) S_5; & S_3 \xrightarrow{2p_\beta} (\beta + \beta) S_1; \\ S_3 \xrightarrow{3p_\alpha} \alpha + \alpha + \alpha S_6; & S_3 \xrightarrow{p_\varepsilon} \varepsilon S_3; \end{array}$$

Распределение  $p_\alpha$ ,  $p_\beta$  имеет вид:  $p_\alpha = 0,25$ ;  $p_\beta = 0,75$ . Отсюда получим следующие результаты:

- вероятность вывода цепочки  $c_1 = \alpha\alpha\alpha$ :  $p(c_1) = 0,25^3 = 0,0156$ ;
- вероятность вывода цепочки  $c_2 = \beta\beta$ :  $p(c_2) = 0,5625$ ;
- вероятность вывода цепочки  $c_3 = \alpha\beta\beta\beta$ :  $p(c_3) = 0,1055$ ;
- вероятность вывода цепочки  $c_4 = \alpha\alpha\beta\beta\beta$ :  $p(c_4) = 0,198$ .

Необходимо отметить, что принятое в примере распределение  $p_\alpha$  и  $p_\beta$  выбрано произвольно, исключительно для иллюстрации работы предлагаемого подхода.

### **Заключение**

Таким образом, приведенный пример показывает, что между состоянием, в котором поступил пациент в медицинскую организацию, и вероятностью достижения целевого исхода лечения имеется функциональная связь. Вид этой связи может быть установлен с помощью имитационного моделирования. Одним из направлений использования данной модели является оценка эффективности работы медицинской организации по показателю «Доля достижения целевых исходов». Для получения такой оценки необходимо сгенерировать возможные варианты продукции грамматики  $G_S$  для различных состояний пациента для среднестатистического числа посещений медицинской организации.

### **Список литературы**

1. Вялков А.И. Оценка эффективности деятельности медицинских организаций / А.И. Вялков. – Издательство: Геотар-мед, 2004. – 104 с.
2. Моделирование процессов в медицине и здравоохранении : моногр. / Е.Л. Борщук, Д.В. Горбачев, Д.Н. Бегун и др. – Оренбург: ОАО «ИПК «Южный Урал», 2015. – 204 с.
3. ГОСТ Р 52600-2006. Протоколы ведения больных. Общие положения / М.: Стандартинформ, 2007. – 19с.
4. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 15 ноября 2012 г. № 918н "Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи больным с сердечно-сосудистыми заболеваниями" / [электронный ресурс] : [https://www.rosminzdrav.ru/documents/\(18.04.2019\)](https://www.rosminzdrav.ru/documents/(18.04.2019))
5. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 2009. – 344 с.
6. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: т.2. Основы кибернетических моделей / учеб. пособие для вузов / Л.Т. Кузин. – М.: Энергия, 1979. – 584с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

**Т.С. Алероев д-р физ.-мат. наук, С.В. Ерохин канд. техн. наук, О.О. Рошка**

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет,  
кафедра прикладной математики,  
Москва, ErokhinSV@mgsu.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ  
НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

*В работе рассматривается моделирование финансовых рынков с применением фрактального анализа. Взяты котировки пары российский рубль/доллар США. Фрактальный анализ рассматривается на основе исследования временного ряда котировок, доказано, что финансовые рынки можно моделировать с помощью фрактального анализа, применяемого в работе. Графики волатильности сравнены в разные моменты времени с графиками решения известного дробного дифференциального уравнения блуждания точечной частицы по самоподобному фрактальному множеству. Решение такого уравнения выписывается с помощью функций Миттаг-Леффлера. Таким образом, данные результаты помогут смоделировать процессы прогнозирования поведения рынка в будущем.*

*Ключевые слова: моделирование финансовых рынков, валютные котировки, фрактальные временные ряды, фрактальный анализ, функция плотности вероятности, дробное дифференциальное уравнение.*

На сегодняшний день известно большое количество различных математических моделей для описания поведения рынка [1-2]. Порой поведение рынков никак не вписывается в картину броуновского движения, которое хоть и является в некотором смысле беспорядочным, но все-таки более-менее «спокойно». Картинка финансовых рынков скорее больше похожа на так называемый процесс Леви, где феноменальные скачки объясняются особыми свойствами самого процесса в целом, и называются «полетами» Леви. Известно, что в нефизических системах довольно часто встречаются автомодельные процессы с фрактальной размерностью. Это так называемые полеты Леви. Они обладают бесконечной дисперсией, а их приращения распределены по  $\alpha$ -устойчивым законам с индексом устойчивости (распределения Леви).

Устойчивые распределения являются важным типом распределений, которые являются форминвариантными относительно операции свертки. Эти распределения можно интерпретировать как предельные распределения сумм независимых одинаково распределенных случайных величин. Они включают в себя класс распределений с толстыми хвостами и несимметричными плотностями распределения. За исключением некоторых исключений, не существует аналитического представления устойчивых распределений и как правило они определяются своими характеристическими функциями, которые обычно зависят от четырех параметров: параметр устойчивости, определяет форму распределения (изменяется от 0 до 2), - параметр асимметрии (изменяется от -1 до 1), - параметр масштабирования (играет роль дисперсии, изменяется от 0 до бесконечности), - значение пространственной координаты, которое соответствует нахождению «пики» распределения.

Исследовались дневные цены открытия котировок рубль/доллар США в течении всего 2016 года (январь-декабрь). Проводилась аппроксимация различными законами распределения. Как видно из графиков ниже, устойчивое распределение Леви дает наиболее подходящий результат.

Известно, что закон Гаусса является частным случаем закона Леви. Проведем сравнение

а) насколько хорошо распределение Гаусса аппроксимирует исследуемые котировки;

б) насколько хорошо логнормальное распределение аппроксимирует исследуемые котировки.

Результаты исследования представлены на рис. 1. Расчеты проводились в системе *Evaluate MATLAB R2016b*.

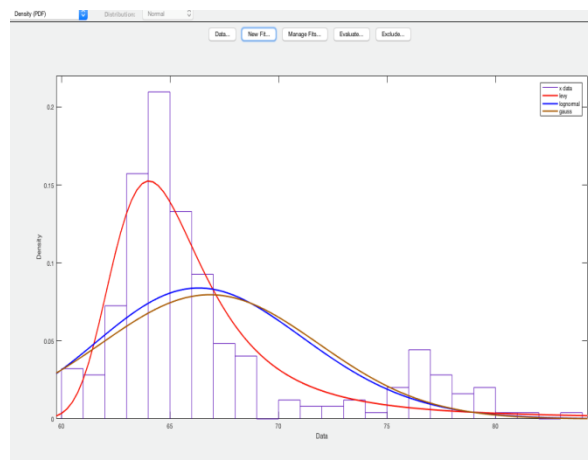


Рис. 1. Гистограмма исследуемой статистики и теоретические распределения (красная линия – распределение Леви, синяя линия – логнормальное распределение, коричневая линия – распределение Гаусса)

Известно, что если параметр альфа закона Леви равен двойке (или очень близок), то у нас получится Гаусс [3]. Однако вычисленный ранее параметр альфа имеет значение 1.3, что подтверждает предположение о распределении котировок по устойчивому закону. Посмотрим, как ведут себя графики функций каждого распределения (доверительный интервал – точечная синяя линия).

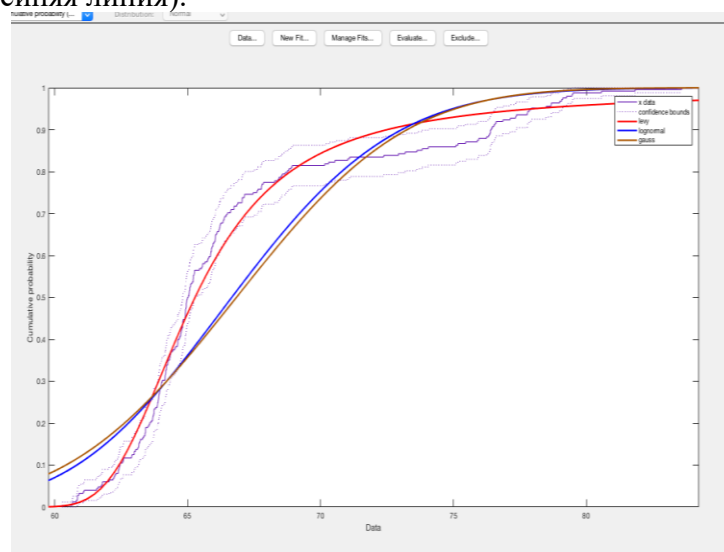


Рис. 2. Графики функций распределений (модуль Cumulative Probability)

Как известно, так называемая характеристическая функция устойчивого распределения, которая входит в выражение образа Фурье дробной производной Ритца-Феллера [4]. Как следствие, устойчивые распределения можно интерпретировать как фундаментальное решение дробного дифференциального уравнения диффузии вида:

$$\frac{\partial^\alpha u(x, t)}{\partial t^\alpha} = \frac{\partial^\beta u(x, t)}{\partial x^\beta}$$

Для этого уравнения поставим следующую задачу с естественными краевыми и начальными условиями:

$$\begin{cases} \frac{\partial^\alpha u(x, t)}{\partial t^\alpha} = \frac{\partial^\beta u(x, t)}{\partial x^\beta} \\ u(0, t) = u(1, t) \\ \lim_{t \rightarrow 0} D_{0t}^{\alpha-1} u(x, t) = \varphi(x) \end{cases} \quad (1)$$

где,

$$\frac{\partial^\alpha u(x, t)}{\partial t^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^t \frac{u(x, \tau) d\tau}{(t-\tau)^\alpha},$$

$$\frac{\partial^\beta u(x, t)}{\partial x^\beta} = \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t \frac{u(\tau, t) d\tau}{(x-\tau)^{\beta-1}},$$

– дробные производные (в смысле Римана-Лиувилля [5]) порядков  $0 < \alpha < 1$  и  $1 < \beta < 2$  соответственно.

Для данной задачи (1) имеет место следующая теорема.

**Теорема.** Функция

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n E_\alpha(\lambda_n t^\alpha) x^{\beta-1} E_{\beta, \beta}(\lambda_n x^\beta) \quad (2)$$

является решением краевой задачи (1). Здесь

$$E_{\alpha, \beta}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\beta + \alpha k)}$$

– известная функция типа Миттаг-Леффлера.

Эта теорема может быть использована для изучения финансовых рынков в случае когда  $u(x, t)$  - логарифмическая доходность цен.

На рис. 3. в качестве примера изображено решение задачи (1) в случае, когда  $u(0, t) = u(2, t)$  и

$$u(x, 0) = f(x) = \begin{cases} 2x, 0 \leq x \leq \frac{1}{2} \\ \frac{4-2x}{3}, \frac{1}{2} \leq x \leq 2 \end{cases}.$$

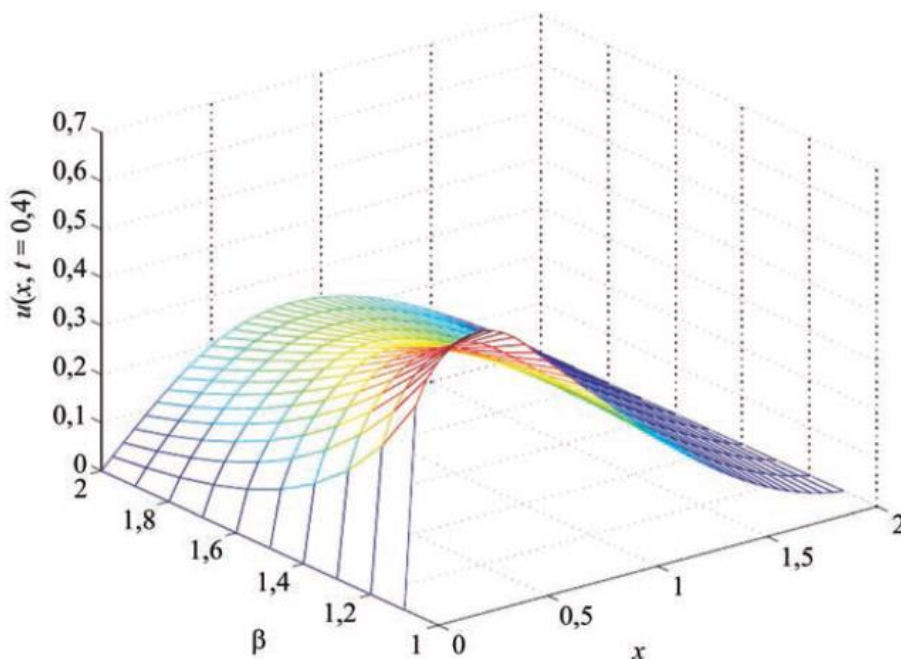


Рис. 3. График решения краевой задачи (1), построенный при помощи функции Миттаг-Леффлера (2)

Моделирование финансовых процессов получено с помощью рассматриваемого временного ряда на основе котировок пару рубль/доллар США. Полученные модели помогут при прогнозировании поведения рынка в будущем, что является неоценимым вкладом при применении моделирования процессов фрактального анализа.

#### ***Список литературы***

1. *Erokhin S., Roshka O.* Supplement of differential equations of fraction order for forecasting of financial markets. MATEC Web of Conferences, Vol. **170**, 01075, 2018.
2. *Erokhin S., Roshka O.* Application of fractal properties in studies of financial markets MATEC Web of Conferences, Vol. 170, 01074, 2018.
3. *Пирожков В. Г., Алероев Т. С., Рошка О. О.* Некоторое приложение уравнения Фоккера-Планка. Вестник МГСУ, 2017, №7, с. 809-821.
4. *Korbel J., Luchko Yu.* Modeling of financial processes with a space-time fractional diffusion equation of varying order. Fractional Calculus and Applied Analysis. 2016. Vol. 19. No. 6. Pp. 1414–1433.
5. *Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И.* Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск, изд - во "Наука и техника", 1987, 688 стр.



05.13.18

А.Е. Гилёва

Новокузнецкий институт (филиал)  
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
Новокузнецк, anna310591@yandex.ru

### ВОЛНОВАЯ И ОБОЛОЧЕЧНАЯ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ СОУДАРЕНИИ С ПОРАЖАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

*В работе рассматриваются механические процессы соударения многослойного тканого материала с жестким поражающим элементом. Начальная стадия соударения состоит в уплотнении материала, оболочечная стадия описывается на основе гипотезы Рэджи с деформируемой нормалью. Перемещения и скорости в конце начальной стадии являются начальными условиями для оболочечной стадии.*

Ключевые слова: многослойная тканая преграда, поражающий элемент, энергопоглощение, стадия уплотнения, гипотеза Рэджи.

При проектировании лёгкой бронезащиты из многослойных тканых материалов актуальны задачи, связанные с выбором конструктивных параметров многослойного пакета. В целях повышения защитных свойств требуется оценка энергопоглощающей способности каждого слоя образца. Эта оценка требует предварительного изучения термомеханических процессов поглощения энергии при ударе. Поскольку прямое измерение процессов поглощения невозможно в связи с их малой продолжительностью, необходимо использование средств математического моделирования

В работах [1, 2] авторами предлагается математическая модель, в которой в качестве начальных условий принимались нулевые перемещения на лицевой и обратной поверхности образца. Движение пакета слоёв рассматривается как объединённое переносное движение пакета в целом и относительное движение нитей в слоях ткани, обжатие нормали не учитывается, а скорость точек центральной нормали (по всей толщине образца) принималась равной начальной скорости поражающего элемента. Такая упрощенная модель приводит к сингулярности силы в начальный момент времени и не позволяет учитывать динамическое изменение параметров напряжённо-деформированного состояния на различных расстояниях от лицевого слоя. Для устранения этих недостатков необходимо обоснованное задание начальных условий для уравнений движения на оболочечной стадии. Начальная стадия описывается моделью [3]: необратимые деформации обжатия нормали обусловлены уплотнением слоёв ткани; прогибы нитей вблизи поверхности контакта с поражающим элементом приводят к их удлинению, причём деформации тем больше, чем менее радиус кривизны поражающего элемента (ПЭ); механизм разрушения заключается в разрыве нитей от продольных напряжений.

#### Начальная стадия соударения

Рассмотрим деформирование ближайшего к ПЭ слоя ткани (рис. 1) и ограничимся интервалом времени, в течение которого ударная волна проходит расстояние, равное толщине этого слоя. Начальная пористость ткани равна  $\mu_0$ , начальная скорость ПЭ  $V$ , толщина слоя  $h$ , плотность ткани  $\rho$  и модуль упругости в поперечном направлении  $E_z$ .

В момент контакта ПЭ, центр которого находится в точке  $O_1$ , с лицевой поверхностью тканевой преграды звуковая волна начинает проходить по толщине пакета в направлении оси  $z$ . За время  $\Delta t$  фронт волны достигает обратной поверхности слоя  $z=h$ , а центр ПЭ перемещается на расстояние  $V \cdot \Delta t$  в положение  $O_2$ . Поверхность  $z=0$  перемещается на расстояние  $V \cdot \Delta t$ , а перемещение поверхности  $z=h$  равно нулю. Таким образом, толщина слоя становится равной  $h - V \cdot \Delta t$ .

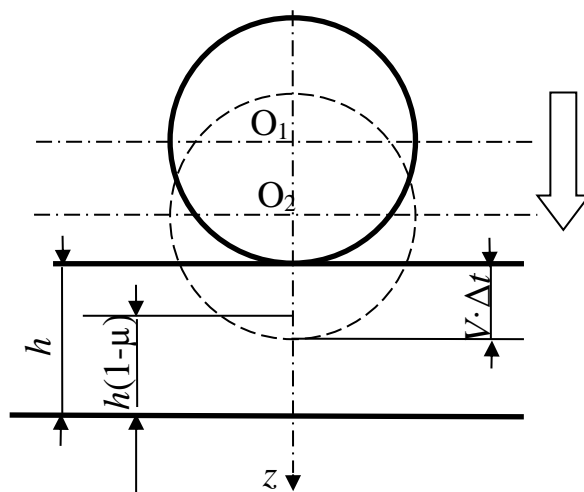


Рис. 1 – Схема деформирования слоя на начальной стадии удара

При полном уплотнении толщина слоя составляет  $h(1-\mu_0)$ , а при неполном уплотнении может быть больше этой величины. Если  $V \cdot \Delta t < \mu_0 h$ , то пройденного расстояния недостаточно для полного уплотнения, тем самым возникают только деформации смятия нитей; при  $V \cdot \Delta t > \mu_0 h$  дополнительно возникает упругая деформация сжатия уплотненного материала нитей.

Прием, что смятие пор происходит при напряжении предела прочности ткани при трансверсальном сжатии; этот предел определяется экспериментально [3]. Текущая пористость слоя ткани  $\mu$  и необратимая деформация обжатия нормали  $\varepsilon_{cm} < 0$  в сумме составляют начальную пористость:  $-\varepsilon_{cm} = \mu_0 - \mu$ . При одновременном выполнении условий  $\dot{\varepsilon} < 0$  и  $\mu < \mu_0$  нагружение считаем активным (здесь и далее точками обозначены производные по времени). При активном нагружении происходит рост необратимой деформации сжатия при постоянном напряжении:

$$\sigma_z = \sigma_{cm}, \quad \dot{\varepsilon}_{cm} = \dot{\varepsilon}, \quad \varepsilon_{cm} < 0. \quad (1)$$

При достижении нулевой пористости либо при уменьшении деформации сжатия происходит разгрузка, для которой примем линейное определяющее уравнение:

$$\sigma_z = E_z(\varepsilon - \varepsilon_{cm}). \quad (2)$$

Модуль упругости  $E_z$  растёт пропорционально степени уплотнения материала.

Перемещения  $u(z, t)$  и скорость  $\dot{u}(z, t)$  определяются решением уравнения движения под действием напряжений (1), (2):

$$\rho \ddot{u} = \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \quad (3)$$

при начальных условиях:  $u(z, 0) = 0$ ,  $\dot{u}(z, 0) = 0$  при  $z > 0$ ,  $\dot{u}(0, 0) = V$ , и граничных условиях

в напряжениях на лицевой и обратной поверхности пакета:  $\pi r_a^2 \sigma_z(0, t) = M \ddot{u}(0, t)$ ,

$$\sigma_z(N \cdot h, t) = 0, \quad (4)$$

где  $M$  – масса ПЭ,  $h$  – толщина слоя,  $N$  – число слоёв пакета.

#### Оболочечная стадия соударения

Примем для описания кинематики переносного движения гипотезы теории оболочек Редди [4]: материальная нормаль к исходной срединной поверхности при деформировании остаётся прямолинейной, но поворачивается, составляя с геометрической нормалью к деформированной срединной поверхности угол поперечного сдвига, а её длина изменяется на величину обжатия нормали. Относительное движение заключается в проскальзывании нити вдоль искривленной поверхности, форму которой определяет переносное движение.

Уравнение движения запишем в вариационном виде [5]:

$$\int_V \rho \ddot{u}_i \delta u_i dV + \int_V \sigma_k(u_k) \delta \varepsilon_k dV + \int_V \tau_{nk}(\dot{u}_k) \delta \gamma_{nk} dV + \int_S f_k \delta u_k dS = P_i \delta u_i, \quad (5)$$

где индекс  $i$  относится к эйлерову базису (переносное движение), индекс  $k$  – к лагранжеву базису (относительное движение), символ  $\delta$  - вариация,  $\rho$  - средняя плотность материала в точке,  $f$ - силы трения,  $\gamma$  - угловая деформация,  $V$  – объем слоя,  $P$  – обобщенные внешние силы.

Для переносного движения начальные условия принимаются из результатов расчета волновой стадии и имеют вид:

$$u_z|_{Z=0} = u_1, u_z|_{Z=H} = u_2, \dot{u}_z|_{Z=0} = v_1, \dot{u}_z|_{Z=H} = v_2. \quad (6)$$

Граничные условия в перемещениях заключаются в запрете переносных перемещений кромок или частей кромок многослойного пакета:

$$u_z|_F = 0, \quad (7)$$

а граничные условия в напряжениях на лицевой и обратной стороне пакета:

$$\sigma_n|_{Z=0} = 0, \sigma_n|_{Z=H} = \begin{cases} 0, \text{отсутствие подложки;} \\ \eta_{осн}(\dot{u}_z + \Delta \dot{u}_n \cdot H \cos(n, Z)), \text{подложка с вязкостью } \eta_{осн} \end{cases}. \quad (8)$$

Для относительного движения нитей граничные условия состоят в равенстве нулю напряжений в нитях на кромках при произвольном угле армирования  $\varphi$ :

$$\sigma_\alpha \sin \varphi = 0, \sigma_\beta \cos \varphi = 0. \quad (9)$$

Перемещения в переносном движении аппроксимируются эрмитовым сплайном с непрерывными первыми производными по координатам. Это позволяет получить как линейные перемещения лицевой поверхности пакета слоёв, так и их производные. Для относительных перемещений целесообразно использовать лагранжев сплайн на тех же по форме конечных элементах.

### Выводы

Разработана математическая модель деформирования тканого многослойного образца при соударении с жестким воздействующим объектом, отличающаяся отдельным описанием процессов на стадии начального уплотнения и оболочечного деформирования, учетом различия деформаций слоёв пакета и их взаимного проскальзывания. Эта модель позволяет определить обратимые и необратимые деформации и напряжения в каждый момент времени, что позволяет далее оценить поглощённую энергию и температуру нитей ткани каждого слоя.

### Список литературы

1. Буданин, О.Н. Приближенная модель термомеханических процессов в броневой защите из ткани при взаимодействии с поражающим элементом/ О.Н. Буданин, В.О. Каледин, С.О. Козельская, А.Е. Гилева, Е.А. Вячкина //Контроль. Диагностика. №5, 2017. С. 28-33.
2. Каледин, В.О. Контроль качества бронеткани с использованием моделирования термомеханических процессов при ударе поражающим элементом/ В.О. Каледин, О.Н. Буданин, С.О. Козельская, А.Е. Гилева // Дефектоскопия. №5, 2018, С. 41-49.
3. Кобылкин, И.Ф. Материалы и структуры легкой бронезащиты / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 191 с.
4. Reddy J.N. Mechanics of laminated composite plates and shells: Theory and analysis / 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.
5. Ланцош, К. Вариационные принципы механики. - М. : Мир, 1965. — 408 с.

05.13.18

**А.Е. Гилёва**

Новокузнецкий институт (филиал)  
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
Новокузнецк, anna310591@yandex.ru

### **ЧИСЛЕННАЯ СХЕМА ВОЛНОВОЙ И ОБОЛОЧЕЧНОЙ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНОГО МАТЕРИАЛА С ПОРАЖАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

*В работе рассматривается решение уравнения движения на начальной стадии уплотнения материала: находятся скорости и перемещения на лицевой и обратной поверхности бронепакета, которые принимаются за начальные условия при расчёте оболочечной стадии. При интегрировании уравнения движения на оболочечной стадии применяется расщепление неявной разностной схемы.*

*Ключевые слова: разностная схема, шаг интегрирования, деформирование, многослойная тканая преграда, поражающий элемент.*

Проблема повышения защитных свойств легкой бронезащиты возникает как на этапе ее проектировании, так и при проведении экспериментальных исследований. Проектирование связано с выбором конструктивных параметров многослойной тканой преграды, обеспечивающих наибольшее поглощение энергии жесткого поражающего элемента. Экспериментальные исследования позволяют косвенным образом контролировать процесс энергопоглощения за счет фиксации динамических температурных полей на поверхности образца [1]. Однако для количественной оценки поглощенной энергии требуется математическое моделирование термомеханических процессов в многослойном образце.

В связи с тем, что на разных этапах соударения происходят различные механические процессы, предлагается различать начальную волновую стадию соударения и оболочечную с деформируемой нормалью.

В работе [1] была рассмотрена упрощенная модель, не учитывающая распределение деформаций по толщине слоистого материала. Для учета этого распределения требуется задание начальных скоростей и перемещений на лицевой и обратной поверхности многослойного образца. Получение начальных условий возможно из рассмотрения волновой стадии, оканчивающейся временем прохождения фронта волны от поверхности удара до обратной поверхности.

В момент соударения жесткого поражающего элемента с многослойной тканой преградой происходит уплотнение материала без деформации растяжения нитей. При движении фронта волны к обратной поверхности прогибы нитей вблизи контакта с поражающим элементом увеличиваются, что приводит к их удлинению, причём деформации тем больше, чем меньше радиус кривизны ПЭ. Несмотря на сдвиговой характер начального разрушения, механизм разрушения заключается в разрыве нитей от продольных напряжений [2].

#### **Численная схема для начальной стадии**

В настоящей работе предлагается численная схема для приближенного расчета скоростей и перемещений на начальной (волновой) стадии. Перемещения  $u(z, t)$  и скорость  $\dot{u}(z, t)$  зависят от нормальной координаты и времени воздействия и определяются решением уравнения движения под действием напряжений:

$$\rho \ddot{u} = \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \quad (1)$$

при начальных условиях:  $u(z, 0) = 0$ ,  $\dot{u}(z, 0) = 0$  при  $z > 0$ ,  $\dot{u}(0, 0) = V$ , и граничных условиях в напряжениях:

$$\pi_a^2 \sigma_z(0, t) = M\ddot{u}(0, t), \quad \sigma_z(N \cdot h, t) = 0, \quad (2)$$

где  $M$  – масса ПЭ,  $h$  – толщина слоя,  $V$  – начальная скорость поражающего элемента,  $N$  – число слоёв пакета, радиус зоны начального разрушения  $r_a = \frac{r_n V}{\sqrt{V^2 + a^2}}$ , где  $r_n$  – радиус ПЭ,  $a$  – скорость поперечных волн.

Заменяя в уравнении движения (1) дифференциал приращением функции и принимая, что лицевая поверхность слоя соответствует значению напряжений на левой границе, а обратная поверхность слоя соответствует значению напряжений на правой границе:

$$h\rho\ddot{u} = \sigma_z^{лев} - \sigma_z^{прав} \quad (3)$$

Умножим обе части равенства на площадь малого участка слоя  $dxdy$  и преобразуем к виду:

$$m\ddot{u} = S(\sigma_z^{лев} - \sigma_z^{прав}). \quad (4)$$

Для задания зависимости напряжений от деформаций смятия и деформаций сжатия введем коэффициент активности  $A$ : при  $\dot{\varepsilon} < 0$  и  $\mu < \mu_0$   $A=1$ , иначе  $A=0$ .

тогда напряжения можно представить в виде:

$$\sigma = (1 - A)E(\varepsilon - \varepsilon_0) + A\sigma_{см}. \quad (5)$$

С учетом (5) уравнение движения (4) будет записано в виде:

$$m\ddot{u} = S[(1 - A_{лев})E_{лев}(\varepsilon_{лев} - \varepsilon_0) + A_{лев}\sigma_{см} - (1 - A_{прав})E_{прав}(\varepsilon_{прав} - \varepsilon_0) - A_{прав}\sigma_{см}] \quad (6)$$

Считая, что значения, определенные на левой границе соответствуют  $i$ -узлу, а на правой границе  $i+1$  узлу, деформации можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_{лев} = \frac{u_{i-1} - u_i}{h}, \quad \varepsilon_{прав} = \frac{u_i - u_{i+1}}{h}. \quad (7)$$

Подставляя выражения (7) в (6) получим:

$$\begin{aligned} m\ddot{u}_i = & S[A_i\sigma_{см} - A_{i+1}\sigma_{см} - (1 - A_i)E_i\varepsilon_0 + (1 - A_{i+1})E_{i+1}\varepsilon_0] + S(1 - A_i)E_i \frac{u_{i-1}}{h} - S(1 - A_i)E_i \frac{u_i}{h} \\ & - S(1 - A_{i+1})E_{i+1} \frac{u_i}{h} + S(1 - A_{i+1})E_{i+1} \frac{u_{i+1}}{h} \end{aligned} \quad (8)$$

Введем малый шаг по времени  $\tau$  и аппроксимируем производные разностными отношениями (верхний индекс обозначает номер момента времени):

$$\ddot{u}^{t+1} = \frac{\dot{u}^{t+1} - \dot{u}^t}{\tau} = \frac{v^{t+1} - v^t}{\tau}, \quad v^{t+1} = \frac{u^{t+1} - u^t}{\tau}. \quad (9)$$

При подстановке (9) в (8) получается следующее разностное уравнение:

$$\begin{aligned} m \frac{v_i^{t+1} - v_i^t}{\tau} = & S[A_i\sigma_{см} - A_{i+1}\sigma_{см} - (1 - A_i)E_i\varepsilon_0 + (1 - A_{i+1})E_{i+1}\varepsilon_0] + S(1 - A_i)E_i \frac{v_{i-1}^t + v_{i-1}^{t+1}}{h} - \\ & - S(1 - A_i)E_i \frac{v_i^t + v_i^{t+1}}{h} - S(1 - A_{i+1})E_{i+1} \frac{v_i^t + v_i^{t+1}}{h} + S(1 - A_{i+1})E_{i+1} \frac{v_{i+1}^t + v_{i+1}^{t+1}}{h}. \end{aligned} \quad (10)$$

Решением являются скорости и перемещения на каждом шаге по времени.

#### Численная схема оболочечной стадии

В работе [3] был получен дискретный аналог уравнения движения, который имеет вид линейного дифференциального уравнения

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = P(t). \quad (11)$$

Первая и вторая производная вектора узловых перемещений аппроксимируются с первым порядком относительно временного шага  $\tau$ :

$$\dot{U}^{t+1} = \frac{U^{t+1} - U^t}{\tau}, \quad \ddot{U}^t = \frac{\dot{U}^{t+1} - \dot{U}^t}{\tau} \quad (12)$$

После подстановки (12) в (11) получена неявная разностная схема с первым порядком аппроксимации относительно шага  $\tau$ .

При интегрировании по времени для экономии времени расчёта применена схема

расщепления. Каждый шаг интегрирования по времени состоит из двух этапов: переносного, при котором относительные перемещения считаются фиксированными, и относительного, в котором варьируются только относительные перемещения при фиксированных переносных.

Матрицы  $M$ ,  $C$  и  $K$  в уравнении (11) имеют блочный вид: первый диагональный блок содержит коэффициенты при переносной скорости, второй диагональный блок – коэффициенты при скорости в относительном движении; внедиагональные блоки в матрицах  $C$  и  $K$  – смешанные коэффициенты, а в матрице  $M$  они равны нулю. В векторе скоростей или перемещений сначала расположены значения переносных скоростей и перемещений, затем – относительных. Получен следующий вид уравнения (12) с учетом аппроксимации (13):

$$\frac{1}{\tau} \begin{bmatrix} M_{пп} & 0 \\ 0 & M_{оо} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_п^{t+1} - \dot{U}_п^t \\ \dot{U}_о^{t+1} - \dot{U}_о^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{пп} & C_{по} \\ C_{по} & C_{оо} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_п^{t+1} \\ \dot{U}_о^{t+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{пп} & K_{по} \\ K_{по} & K_{оо} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_п^t + \tau \dot{U}_п^{t+1} \\ U_о^t + \tau \dot{U}_о^{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_п^t \\ P_о^t \end{bmatrix}. \quad (13)$$

На первом этапе шага интегрирования предположено, что изменяются только переносные перемещения, а относительные постоянны. Условно разобьем интервал времени от  $t$  до  $t+1$  и введем вспомогательные сеточные значения с индексом  $t+1/2$ , тогда в конце первого этапа должно выполняться равенство:

$$\frac{1}{\tau} M_{пп} \left( \dot{U}_п^{t+\frac{1}{2}} - \dot{U}_п^t \right) + C_{пп} \dot{U}_п^{t+\frac{1}{2}} + C_{по} \dot{U}_о^t + K_{пп} \left( U_п^t + \tau \dot{U}_п^{t+\frac{1}{2}} \right) + K_{по} (U_о^t + \tau \dot{U}_о^t) = P_п^t. \quad (14)$$

Решением системы (14) являются скорости и перемещения в переносном движении. Далее зафиксируем найденные значения переносных перемещений, а относительные перемещения будут изменяться:

$$\frac{1}{\tau} M_{оо} (\dot{U}_о^{t+1} - \dot{U}_о^t) + C_{оп} \dot{U}_п^{t+\frac{1}{2}} + C_{оо} \dot{U}_о^{t+1} + K_{оп} \left( U_п^t + \tau \dot{U}_п^{t+\frac{1}{2}} \right) + K_{оо} (U_о^t + \tau \dot{U}_о^{t+1}) = P_о^t. \quad (15)$$

На каждом этапе схема приводится к системе линейных алгебраических уравнений, при этом обеспечивается абсолютная устойчивость и сохраняется первый порядок сходимости относительно шага  $\tau$ .

### **Выводы**

Усовершенствован алгоритм расчета деформаций, напряжений и температурных полей при соударении ткани преграды с жестким поражающим элементом. Начальные перемещения и скорости для оболочечной стадии деформирования рассчитываются по модели уплотнения материала на начальной стадии. Используется неявная разностная схема расщепления по процессам в переносном и относительном движении, что позволяет сократить время вычислений.

### **Список литературы**

1. Каледин, В.О. Исследование возможности контроля качества броневых композиционных материалов на основе ткани по анализу динамических температурных полей при взаимодействии с поражающим элементом/ В.О. Каледин, А.Е. Гилева, О.Н. Будадин, С.О. Козельская // Конструкции из композиционных материалов. № 3, 2017, С. 70-82.
2. Кобылкин, И.Ф. Материалы и структуры легкой бронезащиты / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 191 с.
3. Будадин, О.Н. Численная схема для приближенного расчета ударных процессов в броневой защите из ткани с поражающим элементом/ О.Н. Будадин, В.О. Каледин, С.О. Козельская, Е.А. Вякина, А.Е. Гилева // Контроль. Диагностика. № 7, 2017, С. 34-39.

05.13.18

**Ю.Г. Егорова канд. физ.-мат. наук**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,  
факультет компьютерных технологий,  
кафедра прикладной математики и информатики,  
Комсомольск-на-Амуре, egorova\_jg@mail.ru

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ**

*Описана методика проектирования системы отопления сооружений с использованием инфракрасных отопительных приборов. Произведен расчет тепловых потерь сооружения и построена модель системы отопления. Выполнено моделирование автоматизированной системы отопления, предназначенной для обогрева сооружения.*

Ключевые слова: математическая модель, автоматизированная система отопления, сооружение, тепловые потери.

**Введение.** Появившиеся в последнее десятилетие на рынке инфракрасные отопительные приборы позволяют экономить до 50% электроэнергии за счёт принципа действия. Он заключается в том, что нагретая инфракрасным излучением прибора поверхность на некоторое время сама становится источником инфракрасного излучения и осуществляет нагрев воздуха в помещении. На это время подача электричества в отопительный прибор может быть прекращена. В этой связи становятся актуальными разработка и создание автоматизированной системы управления отопительным оборудованием.

Объектом для установки автоматизированной системы отопления является сооружение общей площадью 300 кв. м (длина – 30 м, ширина – 10 м), высота потолка – 5 м, ширина дверного проема – 3 м, высота – 2,5 м, окна отсутствуют.

Целью установки данной системы является сохранность оборудования и комфорт обслуживающего персонала в холодное время года (при температуре наружного воздуха менее 10<sup>0</sup> С), а также экономия энергии и денежных средств, затрачиваемых на отопление помещения.

**Расчет тепловых потерь.** Потери тепла определяются двумя факторами [1]:

- теплопередача через элементы конструкции сооружения;
- утечки тепла.

Тепловые потери через элементы конструкции сооружения  $P_T$  (в Вт) вычисляются по формуле [1]:

$$P_T = (T_k - T_{нар}) \cdot UA, \quad (1)$$

где  $T_k$  – требуемая температура в помещении;  $T_{нар}$  – минимально возможная температура наружного воздуха;  $U$  – коэффициент теплопередачи для данного элемента конструкции;  $A$  – площадь элемента конструкции.

Рассчитаем тепловые потери через элементы конструкции сооружения полагая, что  $t_{нар} = -40^0$  С,  $t_k = 18^0$  С.

На основании описания объекта определим необходимые для расчета характеристики сооружения:

- периметр наружных стен (80 м);
- площадь наружная (80\*5=400 м<sup>2</sup>);
- площадь дверей (7,5 м<sup>2</sup>);
- площадь внешних стен (400–7,5 = 392,5 м<sup>2</sup>);
- площадь крыши (полов) (300м<sup>2</sup>);
- объем воздуха в помещении (300\*5 = 1500 м<sup>3</sup>).

Результаты расчетов сведем в таблицу 1.

Вследствие утечек тепла из сооружения, в том числе через двери, происходит неконтролируемый обмен с внешней средой, так называемая инфильтрация.

Таблица 1. – Тепловые потери

Элемент конструкции	Площадь (м <sup>2</sup> )	U (Вт/м <sup>2</sup> )	t <sub>к</sub> - t <sub>нар</sub> (С°)	P <sub>т</sub> (Вт)
стены	392,5	0,32	58	7285
крыша	300	0,22	58	3828
дверь	7,5	2	58	870
пол	300	0,11	58	1914
Итого				13897

В общем случае можно считать, что количество инфильтрационного воздуха составляет от 0,2 до 0,5 объема помещения в час. Если принять коэффициент инфильтрации равным 0,3, то объем инфильтрационного воздуха составит: (1500\*0,3 = 450 м<sup>3</sup>).

Мощность для компенсации инфильтрационных потерь вычисляется следующим образом [1]:

$$P_{\phi} = (T_{\kappa} - T_{нар}) \cdot 0,35L \cdot n, \quad (2)$$

где  $L$  – расход воздуха (м<sup>3</sup>/ч);  $n=0,98$  – КПД теплообменника.

Тогда:  $P_{\phi} = 58 \cdot 0,35 \cdot 450 \cdot 0,98 = 9135$  (Вт).

Суммарные потери тепла составят:

$$P = P_T + P_{\phi} = 13897 + 9135 = 23032$$
 (Вт).

Полагая 20% запас на обеспечение положительной динамики в переходных режимах, окончательно получаем:

$$P = P + 0,2 \cdot P = 23032 + 4606 = 27638$$
 (Вт).

Из расчета тепловых потерь следует, что для обогрева и поддержания заданной температуры в данном помещении необходимо не менее 27,7 кВт мощности. Для выполнения этой задачи рациональным будет использование 28 инфракрасных нагревателей (ИКН), мощностью 1 кВт каждый, равномерно расположенных по всей площади потолка сооружения.

**Составление модели нагрева воздуха в помещении.** Теплота  $Q$ , необходимая для нагрева воздуха в помещении до температуры  $T_2$ , определяется соотношением [2]:

$$Q = c_b \cdot m_b \cdot (T_{\kappa} - T_{нар}), \quad (3)$$

где  $c_b$  – удельная теплоемкость воздуха;  $m_b$  – масса теплоносителя;  $T_{нар}$  – температура включения системы отопления.

Количество теплоты, вырабатываемое инфракрасными нагревателями:

$$Q = \Phi \cdot t, \quad (4)$$

где  $\Phi$  – тепловой поток (тепловая мощность);  $t$  – время.

Нагрев воздуха в помещении будет осуществляться за счет разности тепловой мощности, отдаваемой инфракрасными нагревателями,  $\Phi_{икн}$ , и тепловых потерь  $\Phi_n$ :

$$\Phi = \Phi_{икн} \cdot \Phi_n, \quad (5)$$

Потери определяются соотношением [1]:

$$\Phi_n = P_T + P_B = (T_{\kappa} - T_{нар}) \cdot \left( \sum_{i=1}^n S_i U_i + 0,35 \cdot 0,3 \cdot V_{возд} \right), \quad (6)$$

где  $P_T$  – потери через ограждающие конструкции;  $P_B$  – потери на инфильтрацию;  $T_{\kappa}$  – температура воздуха на складе;  $T_{нар}$  – температура наружного воздуха;  $S_i$  – площадь  $i$ -го элемента ограждающих конструкций сооружения;  $U_i$  – коэффициент теплопередачи  $i$ -го элемента ограждающих конструкций;  $n$  – количество ограждающих элементов (пол, стены,





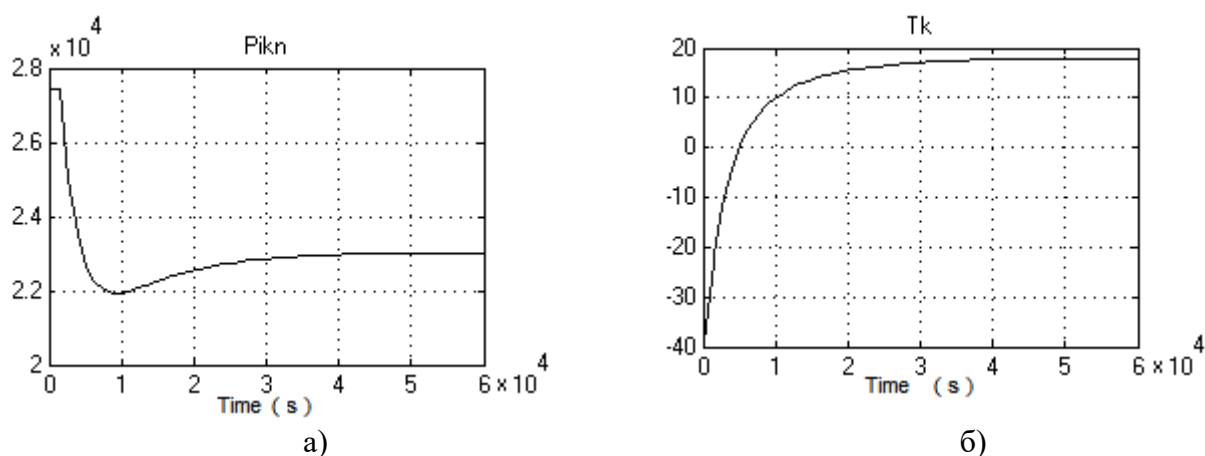


Рис. 2 – Результаты моделирования: а) изменение тепловой мощности инфракрасных нагревателей; б) изменение температуры воздуха в помещении

**Заключение.** Результаты моделирования показывают, что:

- инфракрасные нагреватели отдают полную мощность до момента достижения воздухом заданной температуры, а затем уменьшают вырабатываемую мощность, переходя в режим компенсации тепловых потерь;
- время нагрева воздуха в помещении от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $18^{\circ}\text{C}$  составляет 12,5 часа;
- для уменьшения времени выхода на заданную температуру необходимо увеличить мощность энергетической установки и отопительных приборов.

#### **Список литературы**

1. Богословский В.Н. Отопление и вентиляция: Учебник для вузов / В. Н. Богословский, В. П. Щеглов, Н. Н. Разумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1980. – 295 с.
2. Кухлинг Х. Справочник по физике: Перев. с нем. 2-е изд. / Х. Кухлинг – М.: Мир, 1985. – 520 с.
3. Егоров В.А. Модель нагрева теплоносителя / В.А. Егоров, Ю.Г. Егорова // Материалы международной научно-технической конференции «Электротехнические комплексы и системы». Комсомольск-на-Амуре – 2010. С. 44-45.

05.13.18

**И.Х. Еникеев д-р техн. наук**

Московский политехнический университет,  
факультет базовых компетенций,  
кафедра “Математика”,  
enickeev.iX@yandex.ru

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛА ЛЕБЕГА ПРИ РЕШЕНИИ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

*В работе представлены результаты параметрического исследования систем линейных дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Показано, что при определенных значениях параметров в системе возникает резонанс, приводящий к появлению нелинейных колебаний.*

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, интеграл Лебега, многопараметрические функционалы.

Во многих реальных физических процессах распространение малых возмущений можно рассмотреть в рамках неоднородной системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\frac{dy_i}{dx} = \sum_{k=1}^n a_{ik} y_k(x) + f_i(x), i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

где  $y_i$  – искомая функция,  $a_{ik}$  – известные постоянные коэффициенты,  $f_i(x)$  – функции описывающие внешнее воздействие на систему. Систему (1) можно свести к одному дифференциальному уравнению  $n$ -ого порядка с постоянными коэффициентами:

$$y^{(n)}(x) + a_1 y^{(n-1)}(x) + \dots + a_{n-1} y'(x) + a_n y(x) = F(x) \quad (2)$$

Если осуществляется импульсное воздействие на данную систему, то в этом случае необходимо рассматривать в правой части уравнения (2) функции, имеющие бесконечное количество точек разрыва. В этом случае получение интегральных характеристик, определяющих внешнее воздействие на рассматриваемую систему можно получить при помощи интеграла Лебега [1,2]. Пусть правая часть (2) имеет вид:

$$F(x) = f(x, \lambda, \alpha, \beta) = \begin{cases} 1, x \in E_1; \\ \frac{1 - \cos \alpha x + \sin \alpha x}{x} e^{-\beta x}, \alpha \in R, \beta > 0, x \in I; \\ \frac{\sin \lambda x}{1 + x^2}, \lambda \in R, x \in \frac{R}{\{I\}}. \end{cases} \quad (3)$$

В (3)  $E_1$  – множество значений переменной  $x$ , на котором решение однородного уравнения (2) (без правой части) обращается в нуль,  $R$  – множество действительных чисел,  $I$  – множество иррациональных чисел. Для некоторых систем автоматического управления дифференциальное уравнение (2) имеет 9-ый порядок и соответственно решение этого уравнения, при соответствующих начальных условиях имеет вид [3-5]:

$$y(x) = \cos 6x - 5 \cos 5x + \cos 4x - 4 \cos x + 7$$

Таким образом  $E_1$  – это множество решений тригонометрического уравнения:

$$\cos 6x - 5 \cos 5x + \cos 4x - 4 \cos x + 7 = 0 \quad (4)$$

Найдём множество  $E_1$ : (4)  $\Leftrightarrow 2 \cos 5x \cos x - 5 \cos 5x - 4 \cos x = 0 \Leftrightarrow$

$$\begin{cases} u = \cos 5x, |u| \leq 1 \\ v = \cos x, |v| \leq 1 \end{cases} \Leftrightarrow 2uv - 5u - 4v + 7 = 0 \Leftrightarrow u(2v - 5) = 4v - 7 \Leftrightarrow$$

$$u = \frac{4v - 7}{2v - 5} \quad (5)$$

Построим в координатах  $(v, u)$  график функции (5).

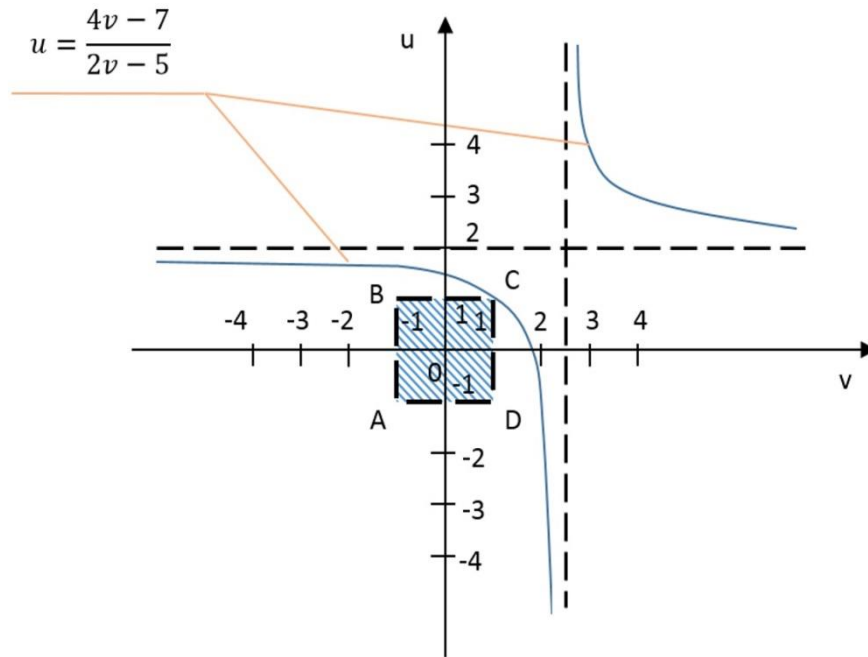


Рис. 1. Асимптотический анализ дробно-линейной функции (5) в координатах  $(v, u)$

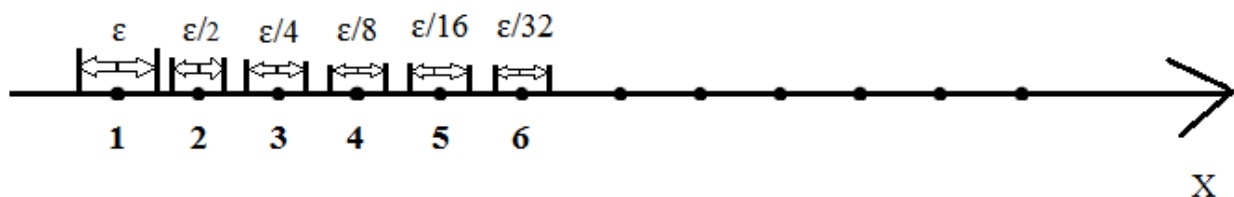
Так как  $D(u) \in [-1, 1]$  и  $E(u) \in [-1, 1]$ , то решением уравнения (5) будут координаты  $(v; u)$  только тех точек, которые одновременно принадлежат заштрихованному множеству на рис.1 и уравнению (5). Из рис.1 следует, что это будет одна точка  $C(1; 1)$ . Отсюда следует, что

$$u = 1, v = 1 \Leftrightarrow \begin{cases} \cos 5x = 1 \\ \cos x = 1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = \frac{2\pi k}{5}, k \in \mathbb{Z} \\ x = 2\pi n, n \in \mathbb{Z} \end{cases} \Rightarrow k = 5n \Rightarrow x = 2\pi n, n \in \mathbb{Z} \quad (6)$$

Таким образом множество  $E_1$  – это множество трансцендентных чисел, определяемых соотношением (6). Очевидно что это множество счетно.

**Лемма 1. Мера множества  $E_1$  равна 0.**

Доказательство. Занумеруем все точки множества  $E_1$  числами от  $1, 2, 3, \dots, n, \dots$  и изобразим эти числа на числовой оси.



Пусть число  $1 \in \left[1 - \frac{\varepsilon}{2}, 1 + \frac{\varepsilon}{2}\right]$ ,  $2 \in \left[2 - \frac{\varepsilon}{2^2}, 2 + \frac{\varepsilon}{2^2}\right]$ ,  $3 \in \left[3 - \frac{\varepsilon}{2^3}, 3 + \frac{\varepsilon}{2^3}\right]$  и т.д., где  $\varepsilon > 0$  сколь угодно малое число. Тогда число 1 покрывается отрезком длины  $\varepsilon$ , число 2 – отрезком длины  $\frac{\varepsilon}{2}$ , число 3 – отрезком длины  $\frac{\varepsilon}{2^2}$  и т.д.

Следовательно сумма длин этих отрезков будет равна:

$$\varepsilon + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon}{2^2} + \dots = \frac{\varepsilon}{1 - \frac{1}{2}} = 2\varepsilon$$

Поскольку множество  $E_1$  счетно, то меры этих множеств совпадают, то есть  $\mu(E_1) = \mu(N)$ , но  $\mu(N) \leq 2\varepsilon \Rightarrow \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \mu(N) \leq \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} 2\varepsilon = 0 \Rightarrow \mu(N) = 0 \Rightarrow \mu(E_1) = 0$ .

**Лемма 2. Множество всех иррациональных чисел (I) имеет мощность континуума.**

Доказательство.  $I = R - Q$ , где  $R$  – множество действительных чисел,  $Q$  – множество рациональных чисел. Так как  $Q$  – счётное множество, то  $I$  – несчётное множество  $\Rightarrow \mu(I) = \mu(R - Q) = \mu(R) - \mu(Q) = \{\mu(Q) = 0\} = \mu(R)$ . Значит  $I$  – имеет мощность континуума.

Таким образом интеграл Лебега от  $f(x, \lambda, \alpha, \beta)$  будет равен:  $\int_{(L)} f(x, \lambda, \alpha, \beta) d\mu = \int_{(E_1)} f(x, \lambda, \alpha, \beta) d\mu + \int_{(I)} f(x, \lambda, \alpha, \beta) d\mu + \int_{(Q)} f(x, \lambda, \alpha, \beta) d\mu$  (7)

**Лемма 3.** Интеграл Лебега от ограниченной функции по множеству меры нуль равен нулю.

Доказательство. Пусть  $f(x) \leq c$ , при  $x \in E$ , тогда  $\int_{(E)} f(x) d\mu \leq \int_{(E)} C d\mu = C \int_{(E)} d\mu = C\mu(E) = 0$ .

На основании лемм 1,2,3 имеем:

$$\int_{(L)} f(x, \alpha, \beta) d\mu = \int_{(I)} f(x, \alpha, \beta) d\mu = \int_{(I)} \frac{1 - \cos \alpha x + \sin \alpha x}{x} e^{-\beta x} d\mu = \int_0^\infty \frac{1 - \cos \alpha x + \sin \alpha x}{x} e^{-\beta x} dx$$

Рассмотрим функционал:

$$F(f, \alpha, \beta) = \int_0^\infty \frac{1 - \cos \alpha x + \sin \alpha x}{x} e^{-\beta x} dx \Leftrightarrow F(f, \alpha, \beta) = \int_0^\infty \frac{1 + \sqrt{2} \sin(\alpha x - \frac{\pi}{4})}{x} e^{-\beta x} dx \quad (8)$$

Функционал (8) имеет особую точку  $x = 0$ .

Доопределим подинтегральную функцию в этой точке:

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1 + \sqrt{2} \sin(\alpha x - \frac{\pi}{4})}{x} e^{-\beta x}, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \end{cases}$$

Функция  $y = f(x, \alpha, \beta)$  непрерывна при  $x \in [0, \infty)$  и  $\alpha \in [0, \infty)$ , поэтому функция

$$I(\alpha, \beta) = \int_0^\infty \frac{1 + \sqrt{2} \sin(\alpha x - \frac{\pi}{4})}{x} e^{-\beta x} dx \text{ является непрерывной функцией. Имеем:}$$

$$f'_\alpha(x, \alpha, \beta) = \sqrt{2} \cos(\alpha x - \frac{\pi}{4}) e^{-\beta x}$$

Функция  $f'_\alpha(x, \alpha, \beta) = \sqrt{2} \cos(\alpha x - \frac{\pi}{4}) e^{-\beta x}$  – непрерывная, тогда применяя теорему о дифференцировании интеграла, зависящего от параметра, имеем:

$$I(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \ln|\alpha^2 + \beta^2| + \arctg \frac{\alpha}{\beta} + C \quad (9)$$

Учитывая, что  $I(0, \beta) = \int_0^\infty \frac{1 + \sqrt{2} \sin(-\frac{\pi}{4})}{x} e^{-\beta x} dx = 0$  и то, что левая и правая часть (9) являются непрерывными функциями  $\forall \alpha \in [0, \infty)$  найдём из (9)  $C$  при  $\alpha = 0$ . Получим:

$$0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \ln \beta + C \Leftrightarrow C = -\frac{1}{\sqrt{2}} \ln \beta, \beta > 0 \Rightarrow$$

$$I(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta^2} \right) + \arctg \frac{\alpha}{\beta}, \beta \in (0, \infty) \quad (10)$$

Таким образом интеграл Лебега от функции  $f(x, \alpha, \beta)$  будет равен:

$$\int_{(L)} f(x, \lambda, \alpha, \beta) d\mu = \int_{(I)} f(x, \lambda, \alpha, \beta) d\mu = \int_0^\infty f(x, \alpha, \beta) dx = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta^2} \right) + \arctg \frac{\alpha}{\beta}, \beta \in (0, \infty) \quad (11)$$

В качестве примера рассмотрим уравнение, которое при определённых значениях параметров  $\alpha$  и  $\beta$  описывает колебательные движения в некоторых физических процессах.

$$y'' + y' + \alpha - \alpha^2 = f(\alpha, \beta)x, \quad (12)$$

где  $f(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \ln \left( \frac{\sqrt{2}\alpha^2 + \beta^2}{\beta^2} \right) + \frac{\beta}{\sqrt{2}} \arctg \frac{\alpha\sqrt{2}}{\beta}, \beta \in (0, \infty); \alpha \in R$ .

Надо найти общее решение уравнения (12) и определить все значения параметра  $\alpha$  при которых уравнение (12) имеет резонанс, в котором внешнее возмущение при  $\beta \gg 1$  асимптотически приближается к линейной функции.

Решение.

$$y'' + y' + \alpha - \alpha^2 = 0 \Rightarrow k^2 + k + \alpha - \alpha^2 = 0 \quad (13)$$

$$y_0 = \begin{cases} C_1 e^{-\alpha x} + C_2 e^{(\alpha-1)x}, & \text{если } \alpha \neq \frac{1}{2} \\ (C_1 + C_2 x) e^{\frac{x}{2}}, & \text{если } \alpha = \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$y_{\text{ч}} = x^k (Ax + B), \quad (14)$$

где  $k = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 - \text{не корень (13)} \\ 1, & \text{если } 0 - \text{корень (13)} \end{cases}$

и, соответственно,  $y = y_0 + y_{\text{ч}}$

Из (13)  $\Rightarrow$  резонанс будет тогда, когда  $\alpha \in \{0; 1\}$ . В случае резонанса

$$y_{\text{ч}} = Ax^2 + Bx, \quad y'_{\text{ч}} = 2Ax + B, \quad y''_{\text{ч}} = 2A \quad (15)$$

Подставляя (15) в (12) получим:

$$\begin{aligned} 2A + 2Ax + B + \alpha - \alpha^2 &= f(\alpha, \beta)x \Rightarrow \begin{cases} 2A = f(\alpha, \beta) \\ 2A + B + \alpha - \alpha^2 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow A = \frac{f(\alpha, \beta)}{2}, B = \\ &= \alpha^2 - \alpha - f(\alpha, \beta) \Rightarrow y_{\text{ч}} = \frac{f(\alpha, \beta)}{2} x^2 + (\alpha^2 - \alpha - f(\alpha, \beta))x \Rightarrow \\ y &= y_0 + \frac{f(\alpha, \beta)}{2} x^2 + (\alpha^2 - \alpha - f(\alpha, \beta))x \end{aligned}$$

Если  $\alpha = 0$ , то  $f(0, \beta) = 0$  и внешнее возмущение отсутствует.

$$\text{Если } \alpha = 1, \text{ то } f(1, \beta) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \ln \left( \frac{\sqrt{2} + \beta^2}{\beta^2} \right) + \frac{\beta}{\sqrt{2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2}}{\beta} \quad (16)$$

$$\text{Из (16)} \Rightarrow \lim_{\beta \rightarrow \infty} f(1, \beta) = \sqrt[4]{2} \Rightarrow \lim_{\substack{\beta \rightarrow \infty \\ \alpha=1}} f(\alpha, \beta)x = \sqrt[4]{2}x \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y(x) = \sqrt[4]{2}x - \text{асимптота правой части (12), при } \beta \gg 1.$$

### Выводы

Многопараметрический анализ системы линейных дифференциальных уравнений показал, что в некотором диапазоне изменения определяющих параметров имеется линейная асимптотика внешнего воздействия, приводящая к резонансу в рассматриваемой системе. Наличие этого резонанса может приводить к нелинейным изменениям таких характеристик данной системы, как частота и амплитуда собственных колебаний, зернистость пространственной кристаллической решётки, интенсивность взаимодействия элементарных частиц на молекулярном уровне.

### Список литературы

1. Шуликовская В.В. Элементы теории меры. Интеграл Лебега. Ижевск, 2015 – 54 с.
2. Кулиев В.Д., Лебявин С.Н. Задачи по функциональному анализу. М.: Университет машиностроения, 2014 – 33 с.
3. Погребной В.Д. Теория функций действительной переменной. Сумы: Сумской государственный университет, 2012 – 239 с.
4. Бидерман В.И. Элементы теории функций действительного переменного. Хабаровск: Издательство Тихоокеанского государственного университета, 2011 – 195 с.
5. Смирнов В.И. Курс высшей математики, Том 2. Издательство «Наука», 1974 – 479 с.

05.13.18

С.С. Логинова, А.В. Дунцев канд. техн. наук

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
институт ядерной энергетики и технической физики им. Ф.М. Митенкова,  
Нижний Новгород, loginova.svetlana2018@yandex.ru, react@nttu.ru

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

*Объектом исследования являются различные методики оценки и прогнозирования радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры. Рассмотрен переход от методик, основанных на статистическом подходе, к методикам прогнозирования работоспособности приборов, основанных на физико-технологическом подходе, то есть на построении физического закона поражения.*

Ключевые слова: радиационная стойкость, радиоэлектронная аппаратура, ионизирующее излучение, прогнозирование.

Вопросам прогнозирования радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры военного и специального назначения и изделий микро электроники, применяемых при её разработке, всегда уделялось повышенное внимание. Разрабатывались и внедрялись расчетные и расчетно-экспериментальные методики [1-4], проводились многочисленные, в том числе, натурные эксперименты [5,6]. Однако, актуальность данного вопроса не угасает и в настоящее время, в связи с развитием технологического прогресса и появлением всё более интеллектуальной электронной компонентной базы, внедрением новых материалов, появлением новых областей применения сложнофункциональных приборов, что не позволяет говорить сегодня о завершенности этих работ.

В ФГУП «ФНПЦ НИИИС имени Ю.Е. Седатова» разработана методика оценки и прогнозирования стойкости РЭА к воздействию ионизирующих излучений различной природы (ядерный взрыв, ядерная энергетическая установка, изотопный источник, моделирующие установки, космические излучения). Результаты этой работы докладывались на конференциях [8-10] и были запатентованы в части оценки стойкости к воздействию факторов космического пространства [11]. Аналогичные работы проводятся и на других предприятиях, иногда даже подходы к оценке работоспособности аппаратуры близки. Например, в работе [12] рассмотрены вопросы разработки радиоэлектронной аппаратуры, предназначенной для, так называемых, высоконадежных применений.

Авторы рассматривают высоконадежными такие применения, для которых:

$$p(t) \approx 1 \text{ при } t \leq t_{AC} \quad (1)$$

где  $p(t)$  — вероятность безотказной работы;

$t_{AC}$  — время активного существования аппаратуры.

По приведенным в работе [12] данным для, удовлетворяющей условиям (1), спутниковой аппаратуры необходимы значения  $p(t) > 0,9$  за время активного существования космического аппарата от 5 лет и более. На примере применения в системах управления движения спутников волоконно-оптических гироскопов, которые представляют собой высокотехнологичные изделия, сочетающие самые современные достижения волоконной оптики и полупроводниковой электроники [12] предложена методика, которая позволяет прогнозировать эксплуатационную надежность такого оборудования в экстремальных условиях эксплуатации.

По данным [12] использованы результаты эксплуатации 88 гироскопов, эксплуатируемых на 16 космических аппаратах. Все аппараты работали примерно в одинаковых условиях

эксплуатации (почти круговые орбиты высотой до 900 км с наклоном 60-90 угловых градусов). Это обеспечивает для всех гироскопов практически идентичные и предельно жесткие условия испытаний, поскольку все приборы установлены на внешних поверхностях аппарата, под защитой только экранно-вакуумной тепловой изоляции. Отказов гироскопов в эксплуатации не наблюдалось. По результатам испытаний были сделаны точечные оценки средней наработки до отказа по методике, предложенной в [13]. Оценки производились для различных видов функции распределения: экспоненциального, Вейбулла (с различными параметрами формы) и DN-распределения. Показано, что оценка, полученная на основе DN-распределения, более консервативна, что согласуется с данными [13]. При параметре формы - 2,5 полученные оценки для DN-распределения и распределения Вейбулла практически совпадают, что позволяет использовать их для прогнозирования времени безотказной работы радиоэлектронной аппаратуры, содержащей сильно стареющие компоненты. При доверительной вероятности 0,99 для DN-распределения и 0,9999 для распределений экспоненциального и Вейбулла полученные оценки практически совпадают со временем цензурирования, а это дает возможность предположить наличие некоторого достаточно продолжительного периода времени, в течение которого вероятность отказа пренебрежимо мала, следовательно,  $p(t)=1$ .

Развитием модели является переход от статистического к физико-технологическому подходу к прогнозированию работоспособности приборов, то есть речь должна идти о построении физического закона поражения, под которым понимают зависимость между вероятностью сохранения работоспособности прибором и интенсивностью поражающего воздействия.

Аналогичные работы применительно к объектам вооружения и военной техники начали развигать в настоящее время и другие организации [15], в которой с применением асимптотической теории распределений экстремумов независимых одинаково распределенных случайных величин (теории экстремальных значений) обоснован функциональный вид физических законов поражения.

Применительно к радиоэлектронной аппаратуре основы физического подхода были заложены в [16-17] и развиты до практических применений в [18-19]. В соответствии с причинным подходом уровень безотказности определяется неидеальностью объектов на всех без исключения этапах жизненного цикла прибора, начиная от ошибок проектирования, производства и эксплуатации, наличия различного вида дефектов комплектующих изделий и заканчивая деградационными процессами физической структуры изделий. Поскольку деградационные процессы имеют длительный характер, а разработанные в отрасли методики обеспечения надежности показали свою эффективность, то после стабилизации процесса изготовления аппаратуры и завершения этапа приработки новой техники отказы будут наблюдаться только начиная с некоторого уровня воздействия, значение которого, как, впрочем, и значение средней наработки до отказа, будет уже неслучайной величиной для конкретного типа аппаратуры и контролируемого уровня технологии. Следовательно, можно предположить, что существует такой вид закона поражения, который позволяет достоверно прогнозировать работоспособность приборов автоматики с учетом особенностей технологии производства.

В работе [10] приведены результаты апробации метода построения физического закона поражения радиоэлектронной аппаратуры тяжелыми заряженными частицами космического пространства. Разработанный алгоритм позволяет получить достоверные оценки срока активного существования аппаратуры космического назначения с учетом актуальных моделей влияния ионизирующих излучений космического пространства на работоспособность приборов.



### Список литературы

1. *Messenger G.C.* The effect of radiation on electronic system/Messenger G.C., Ash M.S. – New York: Van Nostrand Reinolds Co., 1986. – 265 с.
2. *Rickets L.W.* Fundamentals of Nuclear Hardening of Electronic Equipment. – New York: Wiley – Interscience, 1972. – 548 с.
3. *Мырова Л.О.* Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры связи/Мырова Л.О. Чепиженко А.З. – Москва: «Радио и связь», 1983. – 216 с.
4. *Блохин В.Н.* Действие излучений на электронные системы/Блохин В.Н., Данилов В.П., Сызранов В.С.//Физика ядерного взрыва. - М.: Физматлит, 2010-2013. - Т. 2: Действие взрыва/Отв. ред. В. Н. Верховцев, В.Е. Фортов. 2010. - С. 509-533.
5. *Бутин В.И.* Система радиационных испытаний изделий электронной техники/Бутин В.И., Зинченко В.Ф., Романенко А.А. – Владимир: Владимирский государственный университет, 2003. – 185 с.
6. Физика ядерного взрыва - М.: Физматлит, 2010-2013. - Т. 3: Воспроизведение факторов взрыва/Отв. ред. С. Ф. Перцев, В.Е. Фортов. - 2013. - 469 с.
8. *Довбыш Л.Е.* Разработка метода построения физического закона поражения радиоэлектронной аппаратуры тяжелыми зараженными частицами космического пространства по результатам испытаний ЭКБ/Довбыш Л.Е., Качемцев А.Н., Киселев В.К. и др.//Сборник докладов IX Межотраслевой конференции по радиационной стойкости. - Снежинск, октябрь 2010. – С. 68-82.
9. *Качемцев А.Н.* Испытания ЭКБ и приборов на радиационную стойкость/Качемцев А.Н., Катин С.В., Киселев В.К.//Доклад ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седатова» на секции №1 НТС ЯОК ГК «Росатом». – Нижний Новгород, июнь 2011.
10. *Качемцев А.Н.* Способ испытаний полупроводниковых БИС технологии КМОП/КНД на стойкость к эффектам единичных сбоев от воздействия тяжелых заряженных частиц космического пространства/Качемцев А.Н., Киселев В.К., Торохов С.Л.//Патент РФ, № 2495446, приоритет 17.10.2011, опубликован Бюл. №28, 10.10.2013
11. *Качемцев А.Н.* Способ определения стойкости электронных компонентов и блоков радиоэлектронной аппаратуры к воздействию ионизирующих излучений/Качемцев А.Н., Киселев В.К., Корсакова Н.Г.//Патент РФ, № 2504862, приоритет 20.01.2011, Опубликовано Бюл. №2, 20.01.2014
12. *Губанов А.Г.* К вопросу прогнозирования вероятности безотказной работы радиоэлектронной аппаратуры для высоконадежных применений/Губанов А.Г., Пылаев Ю.К., Сидорова М.М.//Компоненты и технологии, 2016, №9, С. 114-119.
13. *Стрельников В.П.* Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры//Математичні машини і системи, 2007, № 3, 4, С. 227-238.
14. *Подкорытов Ю.А.* Обоснование функционального вида и методика построения модифицированных физических законов поражения на базе теории экстремумов случайных последовательностей/Подкорытов Ю.А., Ларионова М.А.//Стратегическая стабильность, 2017, Вып. 3(80), С. 2-6.
15. *Сотсков Б.С.* Физика отказов и определение интенсивности отказов//О надежности сложных технических систем. – Москва: Советское радио, 1966. – С. 289–306.
16. *Хевиленд Р.* Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. – Москва: Энергия, 1966. – 231 с.
17. *Дружинин Г.В.* Надежность автоматизированных производственных систем. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.

05.13.18

<sup>1</sup>Г.М. Мучкаева канд. с.-х. наук, <sup>1</sup>И.С. Мантышев, <sup>1</sup>Ф.Б. Мукарамов, <sup>1</sup>М.С. Насредин, <sup>1</sup>Ф.А. Тургунов, <sup>1</sup>А.Ж. Садыкова, <sup>2</sup>Г.А. Пайзыева

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,  
<sup>1</sup>инженерно-технологический факультет,  
<sup>2</sup>факультет математики, физики и информационных технологий,  
Элиста, galya\_2508@mail.ru

### **МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АГРОЦЕНОЗОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСНОГО СНАБЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

*Представлен метод, позволяющий закладывать численные эксперименты, выполненные в сценарных изысканиях в зависимости от данных, полученных в полевых опытах, посредством применения имитационной модели сельскохозяйственных культур. Приведена статистическая модель, представляющая собой зависимость регрессионного характера, применяемая для расчета оптимизационной задачи.*

Ключевые слова: *технология, производственная функция, численные эксперименты, имитационная модель.*

В сельскохозяйственном производстве для реализации экономически эффективных ресурсосберегающих технологий возделывания культур необходимо базироваться на таком интегральном показателе как чистый доход. Достижение оптимальных значений параметров исследуемой технологии возможно за счет применения такого критерия в виде функции целевого характера, которую можно представить следующим образом:

$$E_f = R - C \rightarrow \max \quad (1)$$

В данном случае в качестве результата (R) выступает стоимостная характеристика валового сбора, а в качестве затрат (C) - издержки производства.

Оптимизация ресурсного снабжения технологии достигается за счет моделирования производственной функции, определяющей влияние основополагающих факторов развития производства (орошение, удобрения) на урожайность и функции издержек производства на осуществление и ресурсное снабжение технологии [1].

Для моделирования производственной функции необходимо иметь данные статистики по показателю урожайности культур или выполнить двухфакторный многолетний эксперимент с применением больших посевных площадей. В настоящее время выполнение такого рода эксперимента является трудной задачей, несущей в себе определенные сложности и затраты.

Существует метод, позволяющий итоги экспериментов, проведенных в полевых условиях, дополнить итогами численных экспериментов, приобретенных в сценарных изысканиях посредством применения имитационной модели сельскохозяйственных культур (в частности, яровой пшеницы), производя на предварительном этапе адаптационные действия по отношению к модели по результатам различных вариантов опытов, исполненных в полевых условиях. По полученному множеству расчетных и действительных значений выполняется статистическая модель, то есть зависимость регрессионного характера, которую возможно использовать для расчета оптимизационной задачи.

На очередном этапе по установленным параметрам ресурсного снабжения (доза вносимых удобрений, оросительная норма) на оптимальном уровне определяется на имитационной модели, прошедшей адаптацию к конкретному сорту и величине минерального питания культуры, методом произведения ряда численных экспериментов, выполненных последовательно (для всего комплекса находящихся в базе данных природно-климатических условий), наилучший режим (поливные нормы и сроки назначения поливов). Также,

применяя имитационную модель, возможно спроектировать ряд данных о значении продуктивной влажности корнеобитаемого слоя почвы (как фактор назначения даты поливов).

На последнем этапе в экспериментах, выполненных в полевых условиях, производится эффективность спроектированного режима орошения, правильность выполнения численных экспериментов имитационной модели и определяется эффективность технологии выращивания культуры с экономической стороны при оптимальных значениях параметров орошения и минерального обеспечения.

В процессе адаптации определение коэффициентов модели выполнялось посредством воспроизведения ряда численных экспериментов с применением данных полевых опытов [2]. Пакет входных данных содержал:

- данные природно-климатических условий: значения полученной солнечной радиации за сутки, температуры воздуха на верхней и нижней границах, скорости ветра и осадков;
- данные почвенных показателей: влажность завядания, уровень грунтовых вод, наименьшая влагоёмкость, мощность почвенного горизонта;
- параметры технологические: даты высева, глубина заделки семенного материала, всхожесть, даты и нормы поливов.

Итоги численных экспериментов, выполняющих функцию адаптации модели, определяемой на повышенных нормах применяемых удобрений, изображены на рисунке 1.

Для определения характерных параметров технологии с применением орошения, необходимо показать связь урожайности от исследуемых показателей (орошение и состав N, P, K) в форме производственной функции. Увеличить надежность производственной функции возможно посредством задания сценарных исследований.

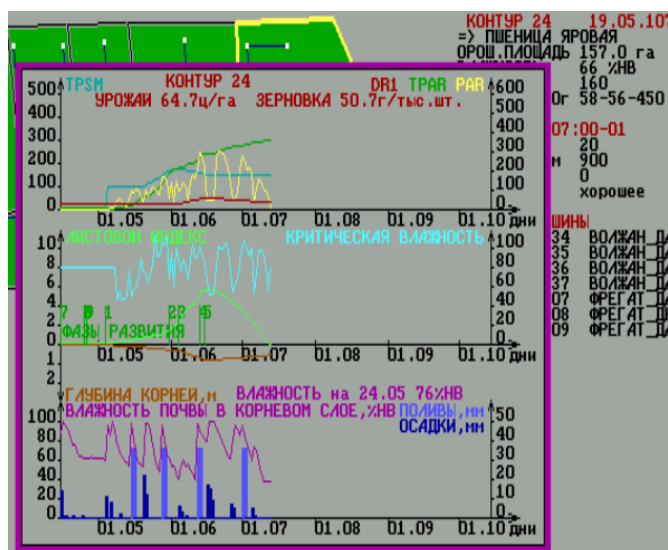


Рис. 1. - Численный эксперимент по образованию урожайности яровой пшеницы при  $N_{210}P_{70}$  в 2002 г.

Исследования сценарного характера содержали выполнение численных экспериментов при учетывании природно-климатических данных, определенных норм для выполнения орошения, дат поливов при использовании ряда версий моделей, прошедших адаптацию [3].

Оптимизационную задачу ресурсного снабжения технологии представим в виде:

$$\left\{ a + vq + \frac{[k_1 + k_2 q / (K_2 + q)] \cdot Q_n}{K_1 + Q_n} \right\} \cdot Z_Y - Z_W Q_6 - Z_{NP} q - Z_C \cdot Y^{1,2} - A \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $v$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  – эмпирические коэффициенты;  $Z_Y$  – цена тонны зерна;  $Q_n$ ,  $Q_6$  – оросительная норма нетто и брутто,  $m^3/га$ ;  $Z_W$  – стоимость доставки (и полива)  $1 m^3$  воды на поле, руб.,  $Z_{NP}$  – стоимость удобрений;  $Z_C$  – стоимость уборки 1 т дополнительной продукции, руб.;  $A$  – ежегодные амортизационные отчисления.

Влияние на урожайность яровой пшеницы оросительной нормы при вариантах «с внесением N, P, K» и «без N, P, K» представлено на рис. 2. Для каждого сорта наилучшие значения оросительной нормы и дозы удобрений обуславливаются с применением соответствующей функции.

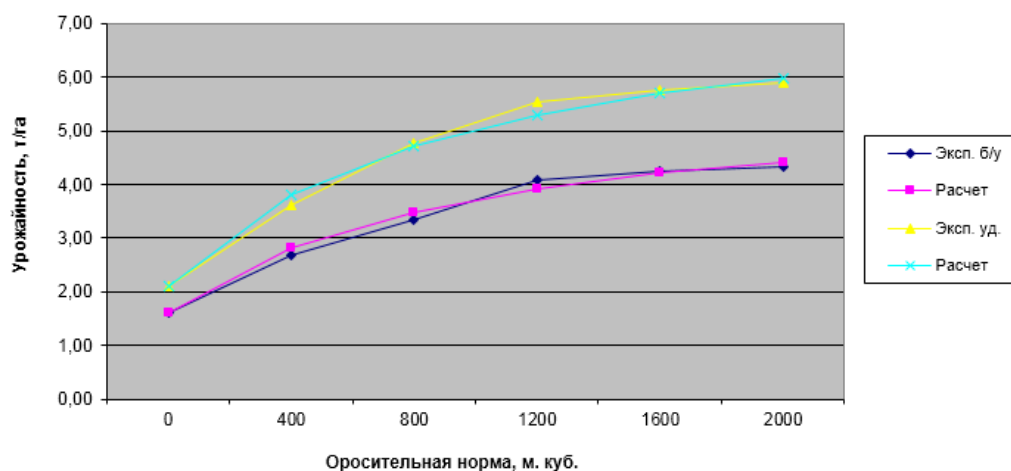


Рис. 2. – Влияние на урожайность яровой пшеницы оросительной нормы при использовании удобрений (верхние кривые) и без удобрений (нижние кривые), реализованные в численном эксперименте и зафиксированные по аппроксимирующему уравнению

При попытке отыскать максимальные значения исследуемых параметров, получаем ряд решений, анализ которых диктует на введение в условие задачи ряда ограничений с экологической и производственной позиции. Поскольку уменьшение объемов поливов может сопровождаться низким уровнем урожайности при аридных условиях климата, наличие только перечисленных ограничений оказывает на область допустимых решений оптимального характера сжимающее воздействие.

Таким образом, посредством выполнения оптимизационных задач с применением специально разработанных прикладных программ с использованием имитационной модели, адаптированной к определенным условиям ресурсного снабжения и путем выполнения ряда численных экспериментов возможно разработать верные варианты ресурсного снабжения технологий.

### Список литературы

1. Добрачев Ю.П., Кузнецова Н.А., Лобачев С.Б., Бурдюгов В.Г. Оптимизация режима орошения с помощью имитационной модели // Мелиорация и водное хозяйство. - 1988. - №4. - С. 46-48.
2. Мучкаева Г.М., Баваев Н.Г., Шараев С.А., Бирюков А.С., Омурзаев А.А., Косаев Б.И. Основные пути ресурсосбережения при выращивании яровой пшеницы в условиях Восточной зоны Республики Калмыкия // Зерновое хозяйство России. – 2016. – Т. 48. - №6. – С. 52-55.
3. Мучкаева Г.М., Лиджиева Н.С., Кирилаев В.В., Эрдниева Г.Е., Самойлов В.В. Метрологическое обеспечение полевого опыта с применением имитационных моделей // Инженерный вестник Дона. - Ростов-на-Дону: изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы Южного федерального университета. – 2017. - №2.

05.13.18

**<sup>1</sup>Н.Г. Очиров, <sup>1</sup>Е.А. Ельникова, <sup>2</sup>Г.М. Мучкаева канд. с.-х. наук**

<sup>1</sup>Северо-Восточный государственный университет,  
кафедра автомобильного транспорта,  
Магадан, nima80@mail.ru,

<sup>2</sup>Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,  
кафедра агроинженерии,  
Элиста, galya\_2508@mail.ru

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МТА И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ MATHCAD**

*Представлено применение программы Mathcad для моделирования допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов с использованием численных методов, для снижения трудоемкости расчетов.*

Ключевые слова: эксплуатационные допуски, энергетические параметры, дисперсия эффективной мощности.

На современном этапе перед агропромышленным комплексом нашей страны поставлена задача усиления производственной безопасности, напрямую зависящей от оптимизации сельскохозяйственного производства и темпов роста производительности труда при условии использования ресурсов энергетического характера на более эффективном уровне.

Выполнение такого рода задачи проявляется комплексом мер по реконструкции техники, применяемой в сельскохозяйственном производстве и методов их эксплуатации за счет модернизации главным образом парка тракторов, реализующего основу агротехнических работ в агропромышленном комплексе и являющегося одним из главных потребителем энергетических ресурсов. При этом особое внимание уделяется вопросам использования мощности двигателей тракторов на другом, более эффективном уровне, при учете их потенциала и характеристик.

При выполнении технологической операции машинно-тракторный агрегат (МТА) постоянно работает в режиме вероятностной нагрузки, что негативно влияет на условия функционирования в первую очередь систем дизеля, в целом агрегата и снижению его технико-экономических показателей. Для устранения этих недостатков необходимо своевременно изменять режимы работы МТА в соответствии с условиями эксплуатации и добиваться его оптимальной загрузки с наименьшим расходом топлива. На различных сельскохозяйственных операциях, когда при заданном диапазоне рабочих скоростей агрегата двигатель может быть загружен полностью, цель управления состоит в обеспечении максимальной скорости движения. Для этого двигателю задается максимальный скоростной режим и включается передача, обеспечивающая минимально возможное передаточное число трансмиссии, при котором двигатель может работать устойчиво на режиме наибольшей отдачи мощности. Однако из-за вероятностного характера тягового сопротивления и наличия «тяговых ступеней», обусловленных трансмиссией трактора, достичь оптимального режима работы агрегата довольно трудно.

Для улучшения показателей работы сельскохозяйственных агрегатов необходимо непрерывно регулировать тяговое сопротивление агрегируемого орудия. При неизменной глубине обработки почвы такое регулирование может осуществляться путем переключения передач и изменения скоростного режима двигателя.

Одним из способов регулирования, позволяющих повысить эффективность функционирования агрегата, является установление допустимых режимов (в виде установочных допусков на уровень настройки по текущим значениям контролируемого параметра).

На основе этих допусков могут быть определены допустимые значения статистических характеристик эксплуатационных показателей агрегатов: степень неравномерности  $\delta_x$ , коэффициент вариации  $\nu_x$ , дисперсия  $D_x$  или среднее квадратическое отклонение  $\sigma_x$  и др.

Рассмотрим на примере расчета дисперсии эффективной мощности [1,2,3]:

$$D(Y_i) = \int_{-\infty}^{\infty} (Y - \bar{Y})^2 \varphi(Y) dY = \int_{-\infty}^{\infty} [f(X) - \bar{Y}]^2 \varphi(X) dX, \quad (1)$$

где  $\bar{Y}$  - математическое ожидание выходного показателя сельскохозяйственного агрегата.

$\varphi(Y) = \varphi(X) |dX/dY$  - плотность распределения вероятностей случайной величины  $Y_i$ ;

$\varphi(X)$  - плотность распределения вероятностей входной переменной;

$f(X)$  - детерминированная функция, устанавливаемая в процессе стендовых и тяговых испытаний МТА

Дисперсия эффективной мощности ДПМ с учетом выражений (1) рассчитывается по формуле [1,2,3]:

$$\begin{aligned} D(N_{\text{ДПМ}}) &= (\sigma_M \sqrt{2\pi})^{-1} \left\{ \int_{-\infty}^{M_H} (A_1^* + B_1^* M_k - \bar{N}_{\text{ДПМ}})^2 \exp[-(M_k - \bar{M}_k)^2 / (2\sigma_M^2)] dM_k + \right. \\ &+ \int_{M_H}^{M_P} (A_2^* + B_2^* M_k - \bar{N}_{\text{ДПМ}})^2 \exp[-(M_k - \bar{M}_k)^2 / (2\sigma_M^2)] dM_k + \\ &+ \int_{M_P}^{\infty} (A_3^* + B_3^* M_k - \bar{N}_{\text{ДПМ}})^2 \exp[-(M_k - \bar{M}_k)^2 / (2\sigma_M^2)] dM_k \} = \\ &= K_{1N}^2 [0,5 + \Phi(t_H)] - 2K_{1N} B_1^* \sigma_M \varphi(t_H) + \\ &+ B_1^{*2} \sigma_M^2 [0,5 + \Phi(t_H) + t_H \varphi(t_H)] + K_{2N}^2 [\Phi(t_P) - \Phi(t_H)] + \\ &+ 2K_{2N} B_2^* \sigma_M [\varphi(t_H) - \varphi(t_P)] + B_2^{*2} \sigma_M^2 [t_H \varphi(t_H) - t_P \varphi(t_P)] + \\ &+ K_{3N}^2 [0,5 - \Phi(t_P)] + 2K_{3N} B_3^* \sigma_M \varphi(t_P) + B_3^{*2} \sigma_M^2 [0,5 - \Phi(t_P) + t_P \varphi(t_P)], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $K_{1N} = A_1^* + B_1^* \bar{M}_k - \bar{N}_{\text{ДПМ}}$ ;  $K_{1N} = A_2^* + B_2^* \bar{M}_k - \bar{N}_{\text{ДПМ}}$ ;  $K_{1N} = A_3^* + B_3^* \bar{M}_k - \bar{N}_{\text{ДПМ}}$ ; - функции, упрощающие выражение (2).

Реализуем данный алгоритм в Mathcad [4].

$$\begin{aligned} H(x, v) &:= tH \leftarrow \frac{(507.5 - x)}{v \cdot x} \\ tP &\leftarrow \frac{(558.8 - x)}{v \cdot x} \\ fot &\leftarrow \frac{e^{-\frac{tH^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\ fot1 &\leftarrow \frac{e^{-\frac{tP^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\ F &\leftarrow \int_0^{tH} \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} dt \\ F1 &\leftarrow \int_0^{tP} \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K1 &\leftarrow 0 + 0.24 \cdot x - Ne(x, v) \\
 K2 &\leftarrow 124 + 0 \cdot x - Ne(x, v) \\
 K3 &\leftarrow 221.5 - 0.18 \cdot x - Ne(x, v) \\
 Dn &\leftarrow K1^2 \cdot (0.5 + F) - 2 \cdot K1 \cdot 0.24 \cdot v \cdot x \cdot fot \dots \\
 &\quad + 0.24^2 \cdot (v \cdot x)^2 \cdot (0.5 + F - tH \cdot fot) \dots \\
 &\quad + K2^2 \cdot (F1 - F) + 2 \cdot K2 \cdot 0 \cdot v \cdot x \cdot (fot - fot1) \dots \\
 &\quad + 0^2 \cdot (v \cdot x)^2 \cdot (tH \cdot fot - tP \cdot fot1) \dots \\
 &\quad + K3^2 \cdot (0.5 - F) + 2 \cdot K3 \cdot (-0.18) \cdot (v \cdot x) \cdot fot1 \dots \\
 &\quad + (-0.18)^2 \cdot (v \cdot x)^2 \cdot (0.5 - F1 + tP \cdot fot1)
 \end{aligned}$$

Dn

Рис. 1. - Реализация алгоритма расчета дисперсии в среде Mathcad

$$x := 300, 340 \dots 660$$

$H(x, v) =$

2.212
2.841
3.548
4.335
5.2
12.067
0.093
1.597
1.82
2.062
43.684
56.109
70.438
104.115
173.234
119.199

Рис. 2. - Результаты расчета в табличном виде

Расчет дисперсии, реализованный в Mathcad, позволяет прогнозировать и определять значения эксплуатационных допусков на диагностируемые в процессе технического обслуживания энергетические параметры тракторов.

**Список литературы**

1. Эвиев В.А., Джабборов Н.И., Очиров Н.Г., Басхаев Н.Б., Холгаев Э.Ю. Методика определения допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 7. – С. 24-25.
2. Эвиев В.А., Очиров Н.Г., Басхаев Н.Б. Критерии сбалансированной системы показателей и эксплуатационных допусков для оценки эффективности МТА на базе тракторов с ДПМ // Тракторы и сельхозмашины: научно-практический журнал. – 2013. – № 9. – С. 21-22.
3. Мучкаева Г.М., Элешов Б.С., Хотамов П.С., Манжиев С.С., Федельский Д.В., Кикеев Н.М. Вероятностно-статистический метод оценки параметров тяговых агрегатов // Инженерный вестник Дона. - Ростов-на-Дону: изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы Южного федерального университета. – 2017. - №2.
4. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, Matlab 7, Maple 9 В. - М.: НТ Пресс, 2006. - 496 с.



05.13.18

<sup>1</sup>Н.Г. Очиров, Е.А. <sup>1</sup>Ельникова, <sup>2</sup>Г.М. Мучкаева канд. с.-х. наук

<sup>1</sup>Северо-Восточный государственный университет,  
кафедра автомобильного транспорта,  
Магадан, nima80@mail.ru,

<sup>2</sup>Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,  
кафедра агроинженерии,  
Элиста, galya\_2508@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МТА В СРЕДЕ MATHCAD

*Представлено применение программы Mathcad для моделирования энергетических параметров машинно-тракторных агрегатов с использованием вероятностно-статистических характеристик для снижения трудоемкости.*

Ключевые слова: *вероятностно-статистическая оценка, математическое ожидание, эффективная мощность, функция связи.*

Отличительной особенностью сельскохозяйственных процессов работы агрегатов является то, что они могут быть отнесены к категории случайных в вероятностно-статистическом смысле. Наиболее полное представление о влиянии переменного характера нагрузки на энергетические и эксплуатационные показатели МТА с использованием вероятностно-статистических оценок внешних воздействий изложено в трудах Л.Е. Агеева и его учеников [1-4].

Полученные ими зависимости позволяют определить степень изменения эксплуатационных показателей МТА по известным типовым характеристикам двигателя и трактора, а также параметрам неустановившейся нагрузки. При этом делаются следующие допущения:

- типовая регуляторная характеристика тракторного двигателя аппроксимируется кусочно-линейными и кусочно-параболическими функциями;
- зависимости между входными и выходными переменными величинами рассматриваются в виде детерминированных случайных функций;
- распределение внешней нагрузки, действующей на агрегат, подчиняется нормальному закону.

В качестве входной переменной (или аргумента) рассматривается крутящий момент на коленчатом валу двигателя –  $M_k$ , плотность распределения которого равна:

$$\varphi(M_k) = (\sigma_M \cdot \sqrt{2 \cdot \pi})^{-1} \exp[-(M_k - \bar{M}_k)^2 / (2 \cdot \sigma_M^2)], \quad (1)$$

где  $\bar{M}_k$  - математическое ожидание момента на валу двигателя, Н·м;

Математическое ожидание определяется по следующей зависимости:

$$\bar{Y}_i = \int_{-\infty}^{\infty} Y \varphi(Y) dY = \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \varphi(X) dX, \quad (2)$$

где  $\varphi(Y) = \varphi(X) |dX/dY|$  - плотность распределения вероятностей случайной величины  $Y_i$ ;

$\varphi(X)$  - плотность распределения вероятностей входной переменной;

$f(X)$  - детерминированная функция, устанавливаемая в процессе стендовых и тяговых испытаний МТА.

Трудоемкость расчетов рассмотрим на примере прогнозного расчёта эффективной мощности двигателя постоянной мощности (ДПМ).

Математическое ожидание эффективной мощности ДПМ при вероятностном характере внешних воздействий и нормальном законе распределения аргумента  $M_k$  с учетом формулы

(2) находится из выражения:

$$\bar{N}_{\text{ДПМ}} = \int_{-\infty}^{M_{\text{H}}} f_1(M_k) \varphi(M_k) dM_k + \int_{M_{\text{H}}}^{M_{\text{П}}} f_2(M_k) \varphi(M_k) dM_k + \int_{M_{\text{П}}}^{\infty} f_3(M_k) \varphi(M_k) dM_k \quad (3)$$

Функция связи  $N_{\text{ДПМ}} = f(M_k)$  устанавливается при аппроксимации стендовой характеристики тремя прямолинейными участками:

$$f(M_k) = \begin{cases} f_1(M_k) = A_1^* + B_1^* M_k \text{ при } M_k \leq M_{\text{H}} \\ f_2(M_k) = A_2^* + B_2^* M_k \text{ при } M_{\text{H}} \leq M_k \leq M_{\text{П}} \\ f_3(M_k) = A_3^* + B_3^* M_k \text{ при } M_k \geq M_{\text{П}} \end{cases} \quad (4)$$

где  $M_{\text{H}}, M_{\text{П}}$  - номинальный и предельный крутящий моменты на валу двигателя, Н·м;

$A_1^*, A_2^*, A_3^*$  и  $B_1^*, B_2^*, B_3^*$  - угловые коэффициенты, определяемые по стендовой (или типовой) характеристике двигателя.

После подстановки переменной  $t = (M_k - \bar{M}_k)/\sigma_M$  в формулу (3) и с учетом выражения (1) получим:

$$\begin{aligned} \bar{N}_{\text{ДПМ}} &= (2\pi)^{-1/2} \left\{ \int_{-\infty}^{t_{\text{H}}} [A_1^* + B_1^* (\bar{M}_k + t\sigma_M)] e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \right. \\ &+ \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{П}}} [A_2^* + B_2^* (\bar{M}_k + t\sigma_M)] e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \int_{t_{\text{П}}}^{\infty} [A_3^* + B_3^* (\bar{M}_k + t\sigma_M)] e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \\ &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} [A_1^* \int_{-\infty}^{t_{\text{H}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + B_1^* \bar{M}_k \int_{-\infty}^{t_{\text{H}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \\ &+ B_1^* \sigma_M \int_{-\infty}^{t_{\text{H}}} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt + A_2^* \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{П}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + B_2^* \bar{M}_k \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{П}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \\ &+ B_2^* \sigma_M \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{П}}} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt + A_3^* \int_{t_{\text{П}}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + B_3^* \bar{M}_k \int_{t_{\text{П}}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + B_3^* \sigma_M \int_{t_{\text{П}}}^{\infty} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt], \end{aligned}$$

где  $(2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{t_{\text{H}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 + \Phi(t_{\text{H}})$ ;

$$(2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{t_{\text{H}}} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = -\varphi(t_{\text{H}}), (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{П}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t_{\text{П}}) - \Phi(t_{\text{H}});$$

$$(2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{П}}} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \varphi(t_{\text{H}}) - \varphi(t_{\text{П}}), (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{t_{\text{П}}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 - \Phi(t_{\text{П}});$$

$$(2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{t_{\text{П}}}^{\infty} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \varphi(t_{\text{П}}), \Phi(t_{\text{H}}) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_0^{t_{\text{H}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt;$$

$$\Phi(t_{\text{П}}) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_0^{t_{\text{П}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \varphi(t_{\text{H}}) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{t^2}{2}};$$

$$\varphi(t_{\text{П}}) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{t^2}{2}};$$

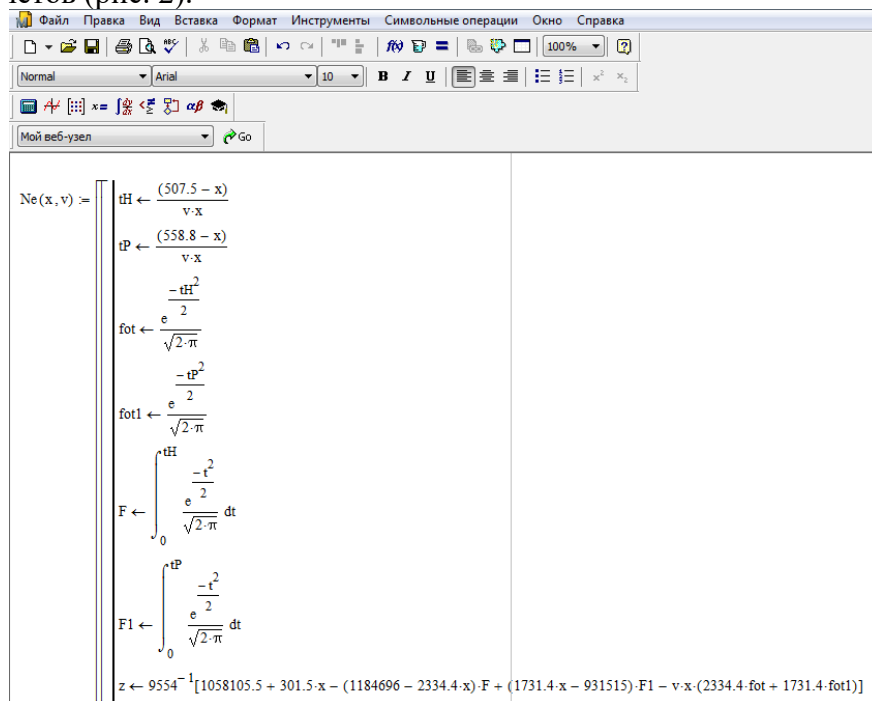
$t_{\text{H}} = (M_{\text{H}} - \bar{M}_k)/\sigma_M$  и  $t_{\text{П}} = (M_{\text{П}} - \bar{M}_k)/\sigma_M$  - соответственно номинальное и предельное значения переменной  $t$  (аргумента функции Лапласа).

С учетом приведенных определенных интегралов:

$$\begin{aligned} \bar{N}_{\text{ДПМ}} &= 0,5(A_1^* + A_3^*) + (A_1^* - A_2^*)\Phi(t_{\text{H}}) + 0,5(B_2^* - B_3^*)\bar{M}_k + \\ &+ (B_1^* - B_2^*)\bar{M}_k\Phi(t_{\text{H}}) + (A_2^* - A_3^*)\Phi(t_{\text{П}}) + \\ &+ (B_2^* - B_3^*)\bar{M}_k\Phi(t_{\text{П}}) + \sigma_M[(B_2^* - B_1^*)\varphi(t_{\text{H}}) + \\ &+ (B_3^* - B_2^*)\varphi(t_{\text{П}})] = 0,5(a^* + b^*\bar{M}_k) + \\ &+ (a_1^* + b_1^*\bar{M}_k)\Phi(t_{\text{H}}) + (a_2^* + b_2^*\bar{M}_k)\Phi(t_{\text{П}}) - \\ &- v_M \bar{M}_k [b_1^*\varphi(t_{\text{H}}) + b_2^*\varphi(t_{\text{П}})], \quad (5) \end{aligned}$$

где  $a^*, a_1^*, a_2^*, b^*, b_1^*, b_2^*$  - постоянные величины.

Реализуем данный алгоритм (рис. 1) в Mathcad [5] и получим наглядное представление результатов расчетов (рис. 2).



$$\begin{aligned}
 tH &\leftarrow \frac{(507.5 - x)}{v \cdot x} \\
 tP &\leftarrow \frac{(558.8 - x)}{v \cdot x} \\
 fot &\leftarrow \frac{e^{-\frac{tH^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\
 fot1 &\leftarrow \frac{e^{-\frac{tP^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\
 F &\leftarrow \int_0^{tH} \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} dt \\
 F1 &\leftarrow \int_0^{tP} \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} dt \\
 z &\leftarrow 9554^{-1} [1058105.5 + 301.5 \cdot x - (1184696 - 2334.4 \cdot x) \cdot F + (1731.4 \cdot x - 931515) \cdot F1 - v \cdot x \cdot (2334.4 \cdot fot + 1731.4 \cdot fot1)]
 \end{aligned}$$

Рис.1. - Реализация алгоритма в среде Mathcad

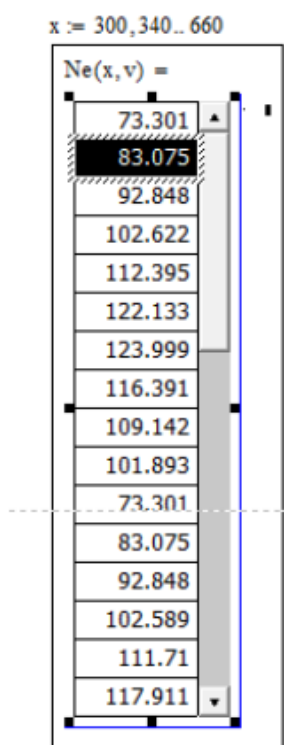


Рис. 2. – Результаты расчета в Mathcad

Таким образом, алгоритмы расчета энергетических и технико-экономических параметров МТА, реализованные в Mathcad, позволяют значительно снизить трудоемкость расчетов, установить оптимальные и рациональные режимы работы агрегатов, наглядно представить сложные графические объекты.

**Список литературы**

1. *Агеев Л.Е., Бахриев С.Х.* Эксплуатация энергонасыщенных тракторов: учебное пособие.- М.: Агропромиздат, 1991.-271с.
2. *Джабборов Н.И.* Научные основы энерго-технологической оценки и прогнозирования эффективности использования мобильных сельскохозяйственных агрегатов. – Душанбе: Дониш, 1995. – 286 с.
3. *Мучкаева Г.М., Элешов Б.С., Хотамов П.С., Манжиев С.С., Федельский Д.В., Кикеев Н.М.* Вероятностно-статистический метод оценки параметров тяговых агрегатов // Инженерный вестник Дона. - Ростов-на-Дону: изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы Южного федерального университета. – 2017. - №2.
4. *Эвиев В.А.* Методология определения оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов: учебное пособие. – СПб – Пушкин: Тип. СПбГАУ, 2004. – 274 с.
5. *Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В.* Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, Matlab 7, Maple 9 В. - М.: НТ Пресс, 2006. - 496 с.

05.13.18

Е.А. Петровичева канд. техн. наук, И.М. Ильина канд. техн. наук

Альметьевский государственный нефтяной институт,  
нефтегазовый факультет,  
кафедра физики и химии,  
Альметьевск, alena-p67@mail.ru, idailina@yandex.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРБУЛИЗАЦИИ ПОТОКА В ТРУБЧАТЫХ АППАРАТАХ

*В статье приводятся сравнительные результаты исследования турбулизации потока в трубчатых реакторах. Это позволяет использовать эти аппараты для быстрых химических и физических процессов промышленных производств.*

Ключевые слова: турбулизация потока, интенсивность переноса, смешение.

### 1. Введение

Малогабаритные трубчатые турбулентные аппараты (МТТА) диффузор - конфузорной конструкции используются в качестве основного реактора для организации смешения при быстропротекающих химических процессах. Основой для разработки такого реактора является создание потока с высокой степенью турбулентности в относительно небольшом объеме рабочей смеси [1-3].

### 2. Методика сравнения

В основу повышения эффективности работы трубчатых реакторов заложена турбулизация потока. Чем выше уровень турбулизации потока, тем интенсивнее происходит перенос тепла к стенке. В работах [1-3] приведены схемы наиболее эффективных турбулизаторов. В качестве критерия эффективности используются отношение чисел Нуссельта исследуемой и гладкой трубы, обозначенное символом:  $II = Nu / Nu_{г\lambda}$ .

На рис.1 показаны несколько типов трубчатых теплообменников, исследованных разными авторами. Наибольший практический интерес представляют трубы с кольцевыми выступами (1), профильные трубы и каналы типа конфузор-диффузор (2), трубы со спиральными вставками (3), спирально профилированные трубы (4), трубы с волнистой осью (5), с микроструйными элементами (6).

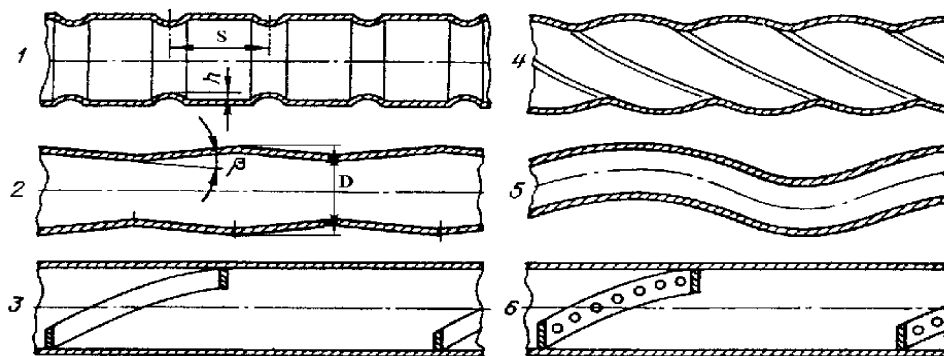


Рис. 1 – Различные конструкции каналов с интенсифицирующими устройствами: 1 – трубы с кольцевыми выступами; 2 – трубы типа конфузор - диффузор; 3 – трубы со спиральными вставками (оребренные трубы); 4 – спиральные профилированные трубы; 5 – трубы с волнистой осью; 6 – трубы с перфорированными вставками

Сравнительная эффективность различных методов показана на рис.2.

При малых числах  $Re$  ( $Re \approx 10^4$ ) наилучшими показателями характеризуются трубы с кольцевыми выступами (данные Э.К. Калинина и др.),  $II=1,52$ ; трубы и каналы типа

конфузор - диффузор,  $II=1,6$ , трубы с микроструйными элементами и трубы со спиральными вставками,  $II=1,52 \div 1,58$ . Трубы с микроструйными элементами представляют собой трубы со спиральными вставками с отверстиями, формирующими при обтекании микроструи, взаимодействие которых с поверхностью трубы должно способствовать повышению теплообмена. Под цифрой 1 приведены данные по трубам с накатными выступами плохобтекаемой формы. Сравнение этих данных и данных Э.К. Калинина и др., полученных в опытах с обтекаемыми выступами (1'), показывает, что при малых числах  $Re$  влияние профиля выступа (при фиксированной высоте) несущественно. Спирально профилированные трубы характеризуются значением параметра  $II=1,34$ , что заметно ниже, чем лучшие варианты.

Наиболее низка эффективность труб с волнистой осью ( $II=1,15$ ). При больших числах  $Re$  ( $Re \approx 10^5$ ) эффективны трубы с кольцевой накаткой (профилированные выступы,  $II=1,7$ ) и трубы и каналы типа конфузор-диффузор ( $II=1,6$ ), которые при длинах конфузора и диффузора ( $l/h = 2 \div 3$ ) эквивалентны трубам с кольцевой накаткой.

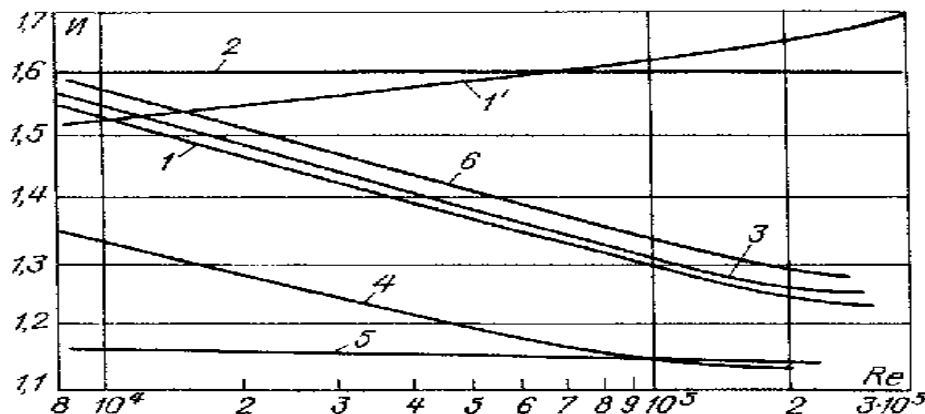


Рис. 2 – Сравнительная эффективность различных методов интенсификации теплообмена.

Номера кривых соответствуют интенсифицированным поверхностям. 1' - трубы с обтекаемыми выступами.

В работах [1-4] приведены данные различных авторов по интенсификации теплоотдачи на воздухе при  $Re = 10^5$  для каналов с турбулизаторами в виде прямоугольных или треугольных поперечных ребер. Отношения  $Nu/Nu_{гл.}$  даны в зависимости от относительного шага размещения турбулизаторов  $S/h$  при постоянных значениях относительной высоты турбулизаторов  $h/d_3$  в качестве параметра. При постоянном  $h/d_3$  зависимость  $Nu/Nu_{гл.}$  от  $S/h$  имеет максимум, несколько смещающийся в сторону меньших  $S/h$  при увеличении  $h/d_3$ . (Здесь использован эквивалентный диаметр  $d_3=d_2-d_1$ ).

Возрастание эффективности теплоотдачи из-за турбулизации потока может происходить в два и большее число раз.

Основная идея этого метода интенсификации теплообмена и смешения жидкостей или газов сводится к следующему [4]. Течение газа по диффузору (при положительном градиенте давления) сопровождается ростом турбулентности потока. Течение в конфузоре (при отрицательном градиенте давления) связано с уменьшением интенсивности турбулентности из-за прекращения ее генерации и вырождения остаточной турбулентности. В случае течения газа в канале, представляющем собой последовательное чередование диффузоров и конфузоров, энергия турбулентности, накопленная потоком в диффузоре, может быть полезно использована в конфузоре. Интенсивность теплообмена и гидравлическое сопротивление канала зависят от относительной протяженности его конфузорных и диффузорных частей, соотношения между входными и выходными сечениями диффузоров и формы кромки.

Изменение соотношения между протяженностью диффузорных и конфузорных частей канала означает изменение относительной длительности действия положительных и отрицательных градиентов давления, а также соотношения между их абсолютными

значениями. Искусственная турбулизация потока сопровождается усиленной диссипацией энергии. В трубах и каналах типа конфузор - диффузор углы раскрытия диффузоров подбираются из условия существования нестационарных микроотрывов потока, интенсифицирующих теплообмен, не вызывая большого повышения гидравлического сопротивления.

На рис.3 показаны результаты экспериментов по исследованию эффективности труб типа конфузор - диффузор [4].

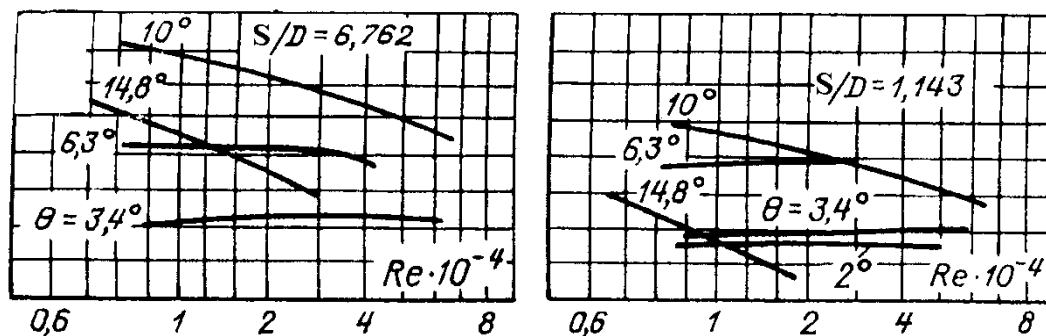


Рис. 3 – Эффективность труб типа конфузор - диффузор

Сравнение приводится при равных потерях на сопротивление (потерях полного давления);  $\theta$  – угол раскрытия конфузора и диффузора.

#### 4. Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение труб диффузор - конфузорного типа существенно увеличивает турбулизацию потока по сравнению с гладкими трубами постоянного диаметра. Сравнительный анализ показывает, что наиболее доступным и эффективным методом управляемого воздействия на структуру турбулентного потока является создание в нем отрывных зон или других организованных вихревых структур.

#### Список литературы

1. Петровичева Е.А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Турбулентное течение смешивающихся жидкостей в малогабаритных трубчатых аппаратах химических производств. Казань, 2006.
2. Петровичева Е.А., Ильина И.М. Анализ схем турбулизаторов, используемых в малогабаритных трубчатых аппаратах. Сборник: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан. Альметьевский государственный нефтяной институт. 2016. С. 213-215.
3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. Издание 3-е, перераб. и дополн. М.: Машиностроение, 1990, 208 с.
4. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. М. «Мир». 1986, 182 с.

05.13.18

**С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков д-р техн. наук, М. Нурышева, А.В. Свердлов**

Университет ИТМО,  
Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ R236ea НА ОСНОВЕ ПРАВИЛА СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА [3β]**

*Обсуждается возможность использовать для моделирования линии насыщения чистых веществ системы уравнений, в которую входит уравнение линии упругости, уравнения паровой и жидкостной ветвей кривой сосуществования, уравнение «кажущейся» теплоты парообразования. При этом уравнения кривой сосуществования строятся на основе модели среднего диаметра  $f_d$ , в рамках которой в окрестности критической точки выполняется условие  $f_d \propto \tau^{3\beta}$ , где  $\beta$  – критический индекс кривой сосуществования. Предлагаемая модель линии насыщения апробирована на примере описания линии фазового равновесия экологически безопасного холодильного агента R236ea в диапазоне от тройной точки до критической точки.*

**Ключевые слова:** линия насыщения, теплота парообразования, R236ea, средний диаметр, уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

В последнее время вопрос о том, как правильно с точки современной физики смоделировать поведение линии насыщения в области сильно развитых флуктуаций плотности, стал особенно актуальным. Это связано, во-первых, с существенным уменьшением неопределенности экспериментальной информации о плотности  $\rho^-$  и давлении  $p_s$  насыщенного пара, а также плотности  $\rho^+$  насыщенной жидкости. Например, в настоящее время неопределенность экспериментальных данных о плотности  $\rho^+$  и  $\rho^-$  шестифтористой серы даже в асимптотической окрестности критической точки не превышает 0,7%. Таким образом, появилась возможность на основе математического и компьютерного моделирования проверить теоретические разработки, связанные с анализом поведения чистых веществ в окрестности критической точки. Во-вторых, моделирование линии насыщения с малой неопределенностью в интервале от тройной точки  $(T_t, \rho_t, p_t)$  до критической точки  $(T_c, \rho_c, p_c)$ , необходимо при построении фундаментальных уравнений (ФУС) технически важных веществ, удовлетворяющих масштабной теории (МТ) критической точки.

Для моделирования линии насыщения индивидуальных веществ в окрестности критической точки системы жидкость-пар в настоящее время используются несколько подходов, которые в той или иной мере нашли обоснование в рамках современной физики критических явлений. Во-первых, подходы, в основе которых лежит модель среднего диаметра  $f_d$  Вегнера (см. [1]):

$$f_d = \frac{\rho^- + \rho^+}{2\rho_c} - 1 = a_1 |\tau|^{1-\alpha} + a_2 |\tau| + o(|\tau|), \quad (1)$$

где  $\tau = T / T_c - 1$ ;  $o$  – символ Ландау;  $a_1$  – постоянный коэффициент.

Модели среднего диаметра типа (1) мы будем обозначать как  $[1-\alpha]$ -модели. Начиная с 2000 г. получили распространение, так называемые,  $[2\beta]$ -модели, в рамках которых поведение функции  $f_d$  при  $T \rightarrow T_c$  описывается зависимостью:



$$f_d = \frac{\rho^- + \rho^+}{2\rho_c} - 1 = a_0^* |\tau|^{2\beta} + a_1^* |\tau|^{1-\alpha} + a_2^* |\tau|^{3\beta} + a_3^* |\tau| + o(|\tau|), \quad (2)$$

где  $\beta$  – критический индекс линии насыщения, причем имеет место неравенство:  $2\beta < 1 - \alpha < 3\beta$ .

Из выражений (1) и (2) следует, что модель среднего диаметра  $[1 - \alpha]$  является частным случаем (при  $a_0^* = 0$ ) модели  $[2\beta]$ . Кроме того, из (2) также следует (при  $a_0^* = a_1^* = 0$ ) модель среднего диаметра  $[3\beta]$ :

$$f_d = \frac{\rho^- + \rho^+}{2\rho_c} - 1 = a_2^* |\tau|^{3\beta} + a_3^* |\tau| + o(|\tau|), \quad (3)$$

В работе [2] показано, что модель  $[3\beta]$  позволяет с малой неопределенностью (около 0,02%) передать данные о плотности  $\rho^\pm$  на линии насыщения  $\text{SF}_6$ . Поэтому мы в дальнейшем при моделировании линии насыщения R236ea будем использовать модель среднего диаметра (3).

Заметим, что уравнение для паровой ветви линии насыщения в рамках модели (2) рассмотрено в работе [1] при расчете линии насыщения хладагента R218. С этой целью в [1] использовано модифицированное уравнение Клапейрона-Клаузиуса:

$$\rho^- = T / r^* \cdot [dp_s(T)/dT], \quad (4)$$

где  $r^* = r / [1 - \rho^- / \rho^+]$  – «кажущаяся» теплота парообразования;  $r$  – теплота парообразования.

Выражение для теплоты  $r^*$ , которое обеспечивает выполнение условия (3), выберем в соответствии с рекомендациями [1]:

$$r^*(T) = \frac{P_c}{\rho_c} (d_0 + d_1 |\tau|^\beta + d_2 |\tau|^{2\beta} + d_3 |\tau|^{\beta+\Delta} + d_4 |\tau|^{1-\alpha} + d_5 |\tau|), \quad (5)$$

где  $d_i$  – постоянные коэффициенты.

Чтобы воспользоваться уравнением (4) для расчета плотности насыщенного пара, необходимо задать функцию  $p_s(T)$  для давления пара в насыщенном состоянии. Мы воспользовались результатами работы [3] и представили  $p_s(T)$  в виде:

$$p_s(T) = p_c \exp(-a_0 \tau^2 / t) \left( 1 + a_1 \tau + a_2 |\tau|^{2-\alpha} + a_3 |\tau|^{2-\alpha+\Delta} + \sum_{i=4}^8 a_i \tau^{n(i)} \right), \quad (6)$$

где  $s_i$  – постоянные коэффициенты,  $i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$ .

Выбор уравнения для расчета плотности насыщенной жидкости определяется требованиями (3) и выбором функций  $\rho^-(t)$  и  $p_s(T)$ , входящих в уравнение (4). В результате совместного анализа выражений (3)–(6) нами получена следующая зависимость для  $\rho^+(t)$ :

$$\frac{\rho^+}{\rho_c} = 1 + D_1 |\tau|^\beta + D_2 |\tau|^{\beta+\Delta} + D_3 |\tau|^{2\beta} + D_4 |\tau|^{3\beta} + D_5 |\tau|^{1-\alpha} + D_6 |\tau| + \sum_{i=7}^{10} D_i |\tau|^{1+(i-6)\alpha}. \quad (7)$$

Причем оказалось, что коэффициенты уравнений (5), (6) и (7) связаны между собой следующими равенствами:  $d_0 = a_1$ ;  $D_1 = d_1 / d_0$ ,  $D_2 = d_3 / d_0$ ,  $D_3 = -(D_1^2 - d_2 / d_0)$ ,  $D_4 = -(D_1^3 - 2d_1 d_2 / d_0^2)$ ,  $D_5 = [d_4 / d_0 + (2 - \alpha) a_2 / d_0]$ ,  $D_6 = (1 - 2a_0 / d_0 + d_5 / d_0)$ .

Коэффициенты уравнений (4)–(7) находились на основе экспериментальных и табличных данных [7–12] с использованием процедуры SVD. Значения критических индексов выбраны, как и работе [6], в соответствии с масштабной теорией критических явлений:  $\alpha = 0,11$ ;  $\beta = 0,325$ ;  $\Delta = 0,51$ .

В результате коэффициентам и параметрам уравнений (4)–(7) присвоены значения:  $p_c = 3,41695$  МПа,  $\rho_c = 563$  кг/м<sup>3</sup>,  $T_c = 412,3801$  К;  $a_0 = 13,8$ ;  $a_1 = 8,691970045447$ ;  $a_2 = 207,863629609$ ;  $a_3 = 92,62472654246$ ;  $a_4 = -262,2190347318$ ;  $a_5 = 41,5640551546$ ;  $a_6 = -33,60392555014$ ;  $a_7 = 35,90836752245$ ;  $a_8 = -36,44499800073$ ;  $n(4) = 2$ ;  $n(5) = 3$ ;  $n(6) = 5$ ;  $n(7) = 7$ ;  $n(8) = 9$ ;  $d_1 = 15,0479824374$ ;  $d_2 = 17,6143631770$ ;  $d_3 = -42,8041137641$ ;  $d_4 = 29,2631979938$ ;  $d_5 = 17,8226277957$ ;  $D_1^* = 1,73125106952$ ;  $D_2^* = -4,924558361372$ ;  $D_3^* = -0,9707203853$ ;  $D_4^* = 1,827836692474$ ;  $D_5^* = 48,564992257$ ;  $D_6^* = -0,124874125564$ ;  $D_7^* = -428,407404628$ ;  $D_8 = 916,142357823$ ;  $D_9 = -762,040065907$ ;  $D_{10} = 231,262539952$ .

Система взаимосогласованных уравнений, параметры которой определены по предложенной методике позволяет воспроизводить данные о давлении  $p_s$  и плотности  $\rho^\pm$  хладагента R236еа в диапазоне температур от  $T = 190$  К до  $T_c = 412,3801$  К. О высокой точности предложенных уравнений свидетельствуют результаты, представленные на рис. 1 и 2.

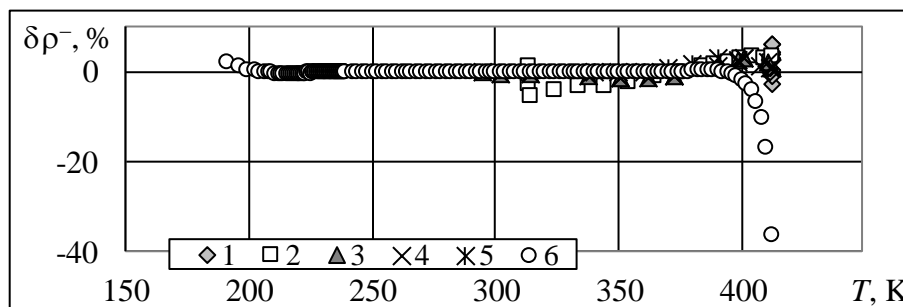


Рис. 1. Относительные отклонения плотности пара на линии насыщения, рассчитанные по (4), от данных: 1 – [4], 2, 3 – [5], 4 – [6], 5 – [7], 6 – [8]

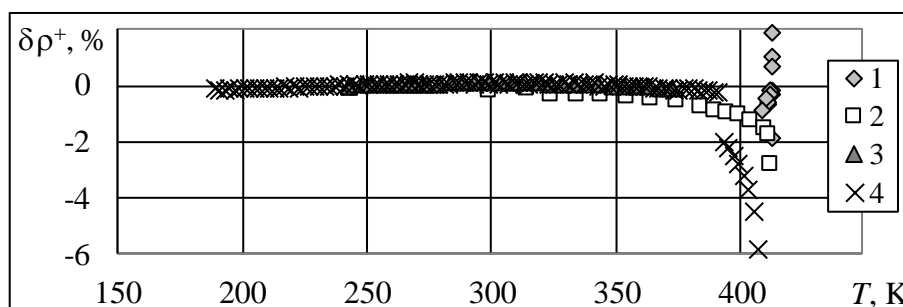


Рис.2. Относительные отклонения плотности жидкости на линии насыщения, рассчитанные по (7), от данных: 1 – [4], 2 – [5], 3 – [8], 4 – [9]

**Список литературы**

1. Vorobev V.S., Ochkov V.F., Rykov V.A., Rykov S.V., Ustyuzhanin E.E., Pokholchenko V.A. J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V.1147. P. 012017.
2. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. Вестник МАХ. 2018. № 4. С. 28–34.
3. Rykov S.V., Kudryavtseva I.V., Rykov V.A., Ustyuzhanin E.E., Ochkov V.F. J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V.1147. P. 012017.
4. Aoyama H., Kishizawa G., Sato H., Watanabe K. Journal of Chemical and Engineering Data. 1996 V. 41. No 5. P. 1046–1051.
5. Gruzdev V.A., Khairulin R.A., Komarov S.G., Stankus S.V. Int. J. Thermophys. 2008. V. 29. P. 546–556.
6. Груздев В.А., Комаров С.Г. Теплофизика и аэромеханика. 2006. Т. 13. № 3. С. 443–451.
7. Zhang H., Sato H., Watanabe K. International Journal of Thermophysics. 1997. V. 18. P. 407–418.
8. Defibaugh D.R., Gillis K.A., Moldover M.R., Schmidt J.W., Weber L.A. Fluid Phase Equilib. 1996. V. 122. No 1-2. P. 131–155.
9. Lemmon E.W., Huber M.L., McLinden M.O. Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties (REFPROP), version 9.0 // National Institute of Standards and Technology. 2010.

05.13.18

**Н.Н. Симченко канд. педагог. наук**

Оренбургский государственный университет,  
факультет математики и информационных технологий,  
кафедра геометрии и компьютерных наук,  
Оренбург, natalia\_sim66@mail.ru

### **ФОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАРИАТИВНОЙ ЧАСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ**

*В работе рассматривается задача оптимизации содержания вариативной части образовательных программ подготовки ИТ-специалистов на основе применения интеллектуальных методов, для решения которой может быть успешно применен муравьиный алгоритм.*

*Ключевые слова: интеллектуальные методы, целочисленная оптимизация, критерий оптимальности, вариативная часть основной образовательной программы (ООП), ЗУН-знания, умения, навыки.*

В настоящий момент к качеству подготовки специалистов в области информационных технологий предъявляются высокие требования. Содержание образовательных программ должно максимально отражать требования рынка труда, потребности субъектов образовательного процесса, обеспечивать высокий уровень квалификации выпускников и по максимуму соответствовать требованиям профессиональной сферы [1].

Вариативная часть ООП представляет собой совокупность учебно-программных материалов, дополняющих и (или) детализирующих инвариантную часть стандарта и разрабатываемых на региональном уровне образовательным учреждением с целью фиксирования специфики региональных или каких-либо иных требований к содержанию труда по той или иной профессии (специальности). Новизна решаемой задачи состоит в том, что разработанная методика формирования содержания вариативной части образовательной программы подготовки ИТ-специалистов на основе применения интеллектуальных методов, позволит определить результаты обучения на всех уровнях высшего образования. Для работодателя открывается возможность подбора выпускников с необходимыми компетенциями на основе анализа образовательных программ, формирования предварительного заказа на компетенции будущих выпускников, определения оптимальных путей для переподготовки персонала [2].

Возникает проблема составления наиболее рациональной вариативной части ООП, позволяющей обеспечивать необходимый уровень квалификации выпускников, который будет требоваться после завершения обучения. Рассмотрим критерий оптимальности – минимизация суммарной трудоемкости дисциплин, необходимых для формирования вариативной части образовательных программ. Постановка задачи: при заданном наборе дисциплин с указанной трудоемкостью, а также соответствующих им знаний, навыков, умений, стоит задача отбора оптимального списка дисциплин, при освоении которых студент получит объем знаний, навыков, умений, при минимальной суммарной трудоемкости дисциплин и прочих ограничениях. Данная задача относится к задачам целочисленной оптимизации. Она требует нахождения экстремума линейной целевой функции (критерия оптимальности) при некоторых ограничениях. Рассмотрим ограничения, накладываемые при отборе. Трудоемкость вариативной части образовательной программы выражается в том, что сумма кредитных единиц по каждой дисциплине не должна превышать общей трудоемкости вариативной части образовательной программы. Взаимосвязи между дисциплинами отражаются в том, что для изучения определенной дисциплины требуется входной набор ЗУН.

Формирование содержания вариативной части образовательных программ будем осуществлять на основе материалов профессиональных стандартов в области информационных технологий. Формализуем содержание образовательных программ. Подмножества дисциплин и подмножества множества содержательных элементов будем хранить в виде битовых строк. В данной структуре будут храниться обозначения того, будут ли входить знания, умения, навыки в результирующий набор (да – 1, нет – 0), будет ли входить дисциплина в расчетную выборку.

На основе отображения  $\alpha$  и  $\beta$  строится граф  $G(T, R)$ , где множество  $|T| = 2^{|P|}$  – это множество всех возможных подмножеств ЗУН,  $R$  – множество ребер, соответствующее возможностям изучения дисциплин.

Ребро  $r_{ij}$  в графе  $G$  будет соединять вершины  $t_i$  и  $t_j$ , если существует дисциплина  $d_l \in D$ , такая что  $\beta(d_l) \subset r_i$  и  $r_j = r_i \cup \alpha(d_l)$ .

Для каждой дисциплины  $d_l$  определим ее трудоемкость по учебному плану  $z(d_l)$ . Вес ребра  $r_{ij}$  возьмем равным  $z(d_l)$ .

Тогда можно формулировать задачу оптимизации содержания вариативной части сведя ее к задаче о кратчайшем пути в графе: для заданного результата обучения в виде подмножества ЗУН  $Z \subset P$ , найти кратчайший путь в графе  $G(T, R)$  из начальной вершины  $t_0$  (пустой набор ЗУН) до любой из конечных вершин  $t_k$ , таких, что  $Z \subset t_k$ .

В рамках образовательной программы описывается несколько сотен формируемых знаний, умений и навыков, следовательно, задача оптимизации содержания образования имеет достаточно большую размерность и является задачей целочисленной оптимизации и для решения данной задачи мы не можем применить точные методы, так как количество вершин графа равно  $2^{|P|}$ , где  $P$  – количество всевозможных ЗУН. Поэтому для решения задачи будем применять приближенные методы: жадный и муравьиный алгоритмы.

Алгоритмы, предназначенные для решения задач оптимизации, обычно представляют собой последовательность шагов, на каждом из которых предоставляется некоторое множество выборов. Жадный метод обладает достаточной мощностью и хорошо подходит для довольно широкого класса задач. Жадный алгоритм позволяет получить оптимальное решение задачи путем осуществления ряда выборов. В каждой точке принятия решения в алгоритме делается выбор, который в данный момент выглядит самым лучшим.

Еще одним способом поиска рациональных решений для задач оптимизации являются муравьиные алгоритмы, причем эффективность муравьиных алгоритмов растёт с ростом размерности решаемых задач оптимизации. Основная идея, лежащая в основе алгоритмов муравьиной колонии, заключается в использовании механизма положительной обратной связи, который помогает найти наилучшее приближенное решение в сложных задачах оптимизации [3]. Этот подход является многообещающим из-за его общности и эффективности в обнаружении очень хороших решений сложных проблем.

Разработаем алгоритм решения поставленной задачи методом муравьиной колонии. Из вершины графа (наборы компетенций, которыми обладает студент) запускаем муравьев. Ребро связано с изучением дисциплины, то есть пути – это количество зачетных единиц. Запускаем муравьев по всем возможным дисциплинам. Затем, каждый муравей перемещается на соседнюю вершину. Для каждой вершины необходимо перебрать дисциплины и посмотреть, что студент может изучать в данный момент. Путь много, каждый курс вносит дополнения от любого состояния. Необходимо получить  $Z$  – конечный результат, набор ЗУН, которыми должен обладать студент.

Пусть  $T$  – текущая вершина; тогда  $Z \subseteq T$  – условие окончания. Для текущей вершины смотрим те дисциплины, которые еще не изучались –  $D_i$ .

Пусть  $T_i$  – текущая вершина для муравья, а  $S$  – путь муравья, тогда  $\forall D_i \notin S$  и  $B_{D_i} \subseteq T_i$ , где  $B_{D_i}$  – входной набор для каждой дисциплины.

После прохождения пути каждым муравьём, необходимо обновить количество ферментов на рёбрах. Количество фермента, откладываемого на ребрах после одной итерации алгоритма вычисляется по формуле (1):

$$\Delta S_{(i,j)} = \begin{cases} \frac{Q}{S(t)}, (i,j) \in K(t), \\ 0, (i,j) \notin K(t) \end{cases} \quad (1)$$

где  $Q$  – это константа,  $S(t)$  – это длина пути на  $i$ -ом переходе,  $K(t)$  – подмножество вершин через которые проходил путь до нулевой вершины.

В результате применения данного уравнения, более короткий путь будет характеризоваться большим количеством фермента.

Испарение фермента определяется выражением (2):

$$S_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot S_{ij}(t) + k_{ij} \cdot \Delta S_{ij}(t), \quad (2)$$

где  $k_{ij}$  – количество муравьёв, прошедших через вершину  $(i, j)$ ;  $p$  – коэффициент испарения ( $0 \leq p \leq 1$ ).

Псевдокод муравьиного алгоритма решения задачи выглядит следующим образом:

- 1) ввод массива зачетных единиц (ЗЕ);
- 2) ввод списка дисциплин;
- 3) инициализация параметров –  $q, p, Q$ ;
- 4) установка начальной концентрации фермента (0,03);
- 5) размещение муравьёв в вершинах;
- 6) выбор начального минимального маршрута  $S_i$ ;
- 7) построение пути  $S$  для каждого муравья из терминальной вершины на основании выражения (2.1) и вычисление длины пути  $S(t)$ .
- 8) сравнение длины полученного маршрута  $S(t)$  с минимальным на данный шаг маршрутом  $S_i$ . Если  $S(t) < S_i$ , то  $S_i = S(t)$  и  $S = S(t)$ .
- 9) обновление интенсивности фермента для каждого ребра из хэш-таблицы.
- 10) если  $t < T$ , то переходим к пункту 8.
- 11) вывод маршрута  $u$  и его длины  $S$ .

Сложность данного алгоритма зависит от количества итераций, количества муравьёв и количества терминальных вершин. Основная идея, лежащая в основе алгоритмов муравьиной колонии, заключается в использовании механизма положительной обратной связи, который помогает найти наилучшее приближенное решение в сложных задачах оптимизации. Достоинством муравьиных алгоритмов является то, что они опираются на память обо всей колонии вместо памяти только о предыдущем поколении, меньше подвержены неоптимальным начальным решениям (из-за случайного выбора пути и памяти колонии), а также могут использоваться в динамических приложениях (адаптируются к изменениям).

### **Список литературы**

1. Симченко, Н.Н. Интеллектуальные методы оптимизации содержания вариативной части профессиональных образовательных программ / Н.Н. Симченко // Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в науке нового времени». г. Курган, 20 июня 2016 г. В 2 ч. Ч.1. – Уфа. – «Аэтерна» . – 2016. – С. 46-49.
2. Шухман, А.Е. Подходы к моделированию и оптимизации содержания образовательных программ в сфере информационных технологий // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры – Оренбург, 2014. – С. 1647-1650.
3. Литовка Н.В. Метод решения обратной задачи оптимального размещения распределительных центров / Литовка Н.В., Видовский Л.А. // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2018. № 3. С. 204-210.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ  
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)**

05.13.19

<sup>1</sup>Ю.Д. Фот канд. техн. наук, <sup>2</sup>Н.П. Мошуров, <sup>3</sup>И.А. Щудро канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,  
факультет математики и информационных технологий,  
<sup>1,2</sup>кафедра компьютерной безопасности и математического  
обеспечения информационных систем,  
<sup>3</sup>кафедра программного обеспечения вычислительной техники  
и автоматизированных систем,  
Оренбург, Fotulia@mail.ru, moshurov@bk.ru, shudro@mail.ru

**АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ  
ПРИ АУДИТЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*В статье представлен анализ нормативно-правовой базы ФСТЭК, ФСБ, Минэнерго, МЧС, Постановлений правительства, Федеральных законов и отраслевых стандартов при проведении аудита автоматизированных систем топливно-энергетического комплекса. Разработанный алгоритм проведения аудита, содержит поэтапные рекомендации, что позволит получить более объективные оценки и качественный анализ.*

**Ключевые слова:** *аудит информационной безопасности, топливно-энергетический комплекс.*

Для любого предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК) повышение эффективности производства в первую очередь определяется эффективностью существующей системы управления. Для наиболее скоординированных действий управления комплексом и оперативной обработки данных повсеместно внедряются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Однако, объекты ТЭК, могут также относиться и к объектам критической информационной инфраструктуры (КИИ), из-за своей социальной и экономической значимости находятся под наиболее пристальным вниманием с точки зрения безопасности. В настоящее время увеличивается количество угроз безопасности информации (УБИ), направленных не столько на данные, сколько на компоненты АСУ ТП и КИИ. Указ Президента [1], раздел «Экономический рост» отражает, что одно из главных направлений, является повышение уровня безопасности и обеспечение стабильного функционирования на объектах ТЭК, а в разделе «Государственная и общественная безопасность» указывается важность задачи учета УБИ, в части нарушения устойчивости функционирования объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) РФ (п.п. 43, 47 и 49).

В качестве одного из способов оценки информационной безопасности автоматизированных систем (АС) ТЭК от УБИ предлагается применять механизм аудита. Аудит является ключевым звеном в системе разработки, построения и использования систем защиты информации в АС ТЭК. Процесс аудита предполагает получение объективных оценок на основании свидетельств аудита, которые могут быть проверены независимыми экспертами.

В настоящее время требования к средствам защиты информации, в целом информационной безопасности объектов электроэнергетики устанавливаются государственными стандартами, и приказами федеральных органов исполнительной власти (ФСБ России, ФСТЭК России, Минэнерго РФ) [2]. ФЗ №256 [3] устанавливает

организационные и правовые основы в сфере обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса в Российской Федерации. Постановление Правительства [4] определяет исходные данные для проведения категорирования объекта ТЭК, порядок его проведения и критерии категорирования объекта ТЭК. Приказ Минэнерго [5], регламентирует перечень работ, непосредственно связанных с обеспечением безопасности объектов ТЭК. В Приказе ФСТЭК [6] содержатся требования к обеспечению защиты информации в АСУ ТП, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей. Приказ Минэнерго [7] отражает методические рекомендации по включению объектов ТЭК в перечень объектов, подлежащих категорированию. Очевидно, что топливно-энергетический комплекс отличается от других предприятий и организаций, и требует специфического рассмотрения подходов к проведению аудита информационной безопасности АС. Однако, в настоящее время не разработан ни один нормативный документ, который бы отражал алгоритм по проведению внутреннего аудита АС ТЭК. Таким образом, вышесказанное обуславливает актуальность, теоретическую и практическую значимость поэтапного рассмотрения мероприятий по проведению аудита информационной безопасности АС ТЭК, с учетом требований нормативно-методической базы.

В соответствии с [8], аудит информационной безопасности - периодический, независимый от объекта аудита и документированный процесс получения свидетельств аудита и объективной их оценки с целью установления степени выполнения в организациях установленных требований по обеспечению информационной безопасности.

Требованиями по выполнению аудита активов АС ТЭК могут служить требования, отраженные в стандартах [8], [9] и [10]. Общие требования к периодичности, объективности и беспристрастности проверок установлены в стандарте [11], требования для проведения внутреннего аудита информационных систем ТЭК и систем менеджмента информационной безопасности в стандарте [11]. Этапы проведения аудита на основе стандартов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы проведения аудита АС ТЭК в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014

Этап проведения аудита на основе ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 [10]	Дополнительные стандарты для выполнения этапов аудита
Разработка программы аудита (цели, требование, компетентность аудиторов, объём аудита и др.)	ГОСТ Р ИСО 19011:2012 [11]; ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 [8] (Определение требований для проведения аудита); ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008 [13] (Компетентность аудиторов) ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008 [13] (Определение объема программы аудита)
Реализация программы аудита (методы аудита, критерии аудита и др.)	ГОСТ Р ИСО 19011:2012 [11]; ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 [8] (Определение целей, области и критериев для каждого конкретного аудита); ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 [12] (Определение целей, области и критериев для каждого конкретного аудита); ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008 [13] (Формирование группы по аудиту)
Проведение аудита	ГОСТ Р ИСО 19011:2012 [11] (Организация и подготовка к проведению аудита); ГОСТ 34.201-89 [14] (Разработка рабочих документов на проведение аудита); ГОСТ Р 51583-2014 [15] (требования при анализе автоматизированных систем в защищенном исполнении); ГОСТ Р 51275-2006 [16] (анализ факторов, воздействующих на безопасность защищаемой информации); ГОСТ Р ИСО 50001-2012 [10] (анализ границ ТЭК, требования к энергетическому менеджменту и



	документации ТЭК); ГОСТ Р МЭК 62443-2-1-2015 [17] (анализ коммуникационных сетей ТЭК, требования к защищенности системы управления ТЭК); ГОСТ Р 22.1.13-2013 (анализ системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений ТЭК) [18].
--	--

К основным активам АС ТЭК, подлежащих обязательному внутреннему аудиту ИБ относятся: АСУ ТП, КИИ, ИСПДн, и другие автоматизированные и информационные системы. При анализе необходимо выполнить идентификацию элементов активов ТЭК: выявить возможный ущерб, наносимый в результате нарушений свойств безопасности; уровень вероятности наступления такого нарушения с учетом идентифицированных угроз и уязвимостей, а также реализованных защитных мер; определить величину риска.

Для получения объективной и независимой оценки текущего уровня обеспечения ИБ АС ТЭК необходимо учитывать требования: нормативно-правовых документов ФСТЭК, ФСБ, Минэнерго, МЧС; Постановлений правительства; Федеральных законов и отраслевых стандартов.

Алгоритм применения нормативно-методической базы регуляторов при внутреннем аудите информационной безопасности АС ТЭК, представлен на рисунке 1.

При аудите систем взаимодействующих с государственными информационными системами (ГИС), в том числе ГИС ТЭК, необходимо опираться на требования, отраженные в Приказе Министерства энергетики РФ от 3 августа 2015 г. №536 «Об утверждении требований к технологиям информационного взаимодействия в интеграционном сегменте государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса, в том числе к форматам представления информации в рамках данного сегмента государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса» и в Приказе ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. №17 «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах». Технологии информационного взаимодействия должны обеспечивать защиту информации, содержащейся в интеграционном сегменте, путем применения средств усиленной квалифицированной электронной подписи и средств шифрования, сертифицированных ФСБ России, совместимых со средствами электронной подписи и средствами шифрования, используемыми в системе межведомственного электронного взаимодействия. Аудит проводится операторами данных ГИС.

Таким образом, проведенный анализ мероприятий по проведению аудита информационной безопасности АС ТЭК, с учетом требований нормативно-методической базы, и разработанный алгоритм проведения аудита АС ТЭК, позволит более точно систематизировать и упорядочить существующие меры защиты информации в АС ТЭК и сформировать стратегию развития системы обеспечения информационной безопасности ТЭК.

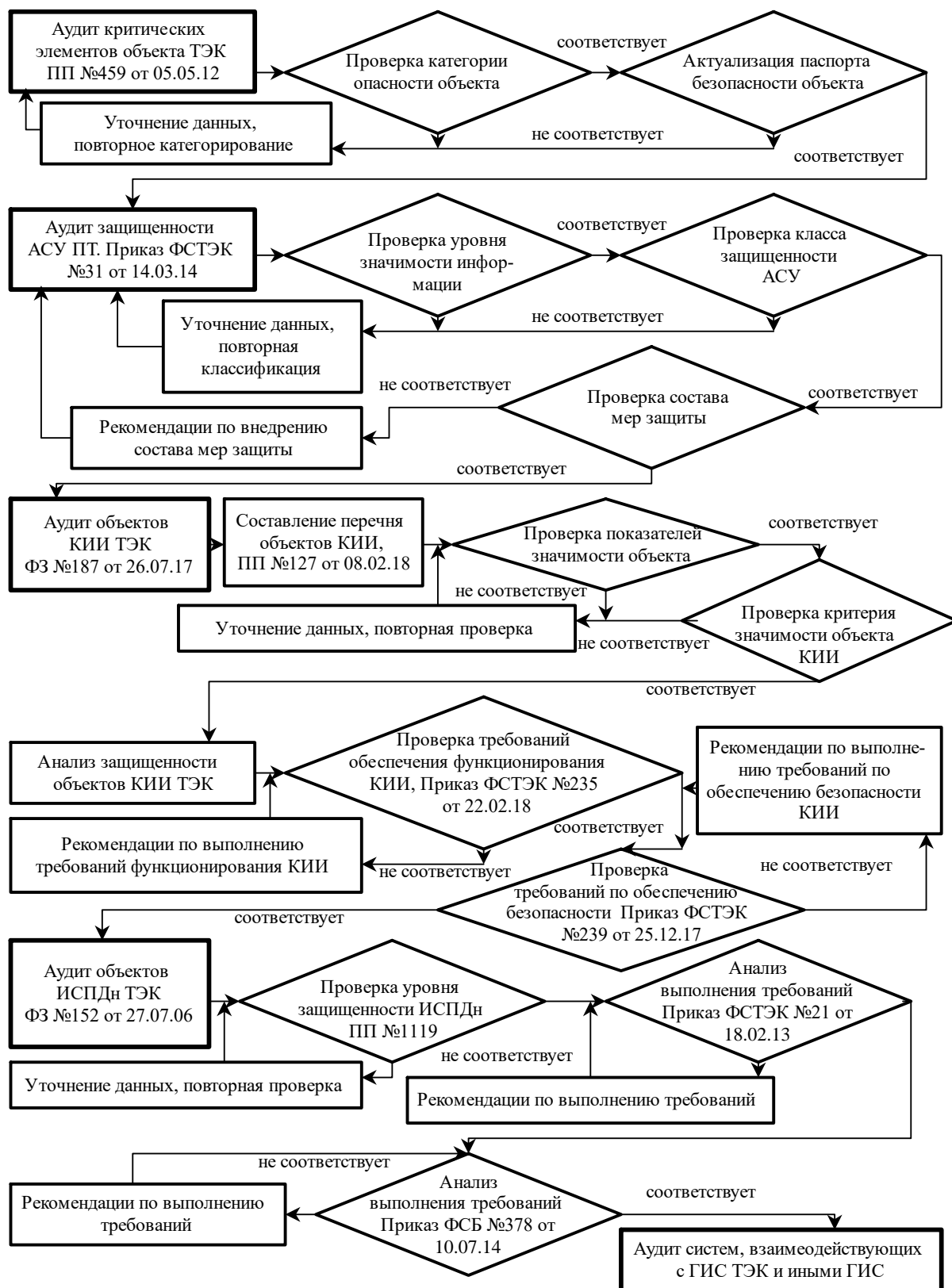


Рис. 1 - Алгоритм применения нормативно-методической базы регуляторов при внутреннем аудите информационной безопасности АС ТЭК

### Список литературы

1. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации. Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 года №683 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/420327289> (дата обращения: 05.04.2019)
2. А.В. Власенко, И.А. Корх Информационная безопасность в электроэнергетике. Отраслевые нюансы Научные труды КубГТУ, № 3, 2018 год <https://ntk.kubstu.ru/file/2033>
3. О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса. Федеральный закон от 21 июля 2011 года №256-ФЗ - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902290768> (дата обращения: 05.04.2019)
4. Об утверждении Положения об исходных данных для проведения категорирования объекта топливно-энергетического комплекса, порядке его проведения и критериях категорирования. Постановление Правительства РФ от 05 мая 2012 года №459 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902346050> (дата обращения: 05.04.2019)
5. Об утверждении перечня работ, непосредственно связанных с обеспечением безопасности объектов топливно-энергетического комплекса. Приказ Минэнерго России от 13 декабря 2011 года №587 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320371> (дата обращения: 05.04.2019)
6. Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды (с изменениями на 9 августа 2018 года) Приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 года №31 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/499084780> (дата обращения: 05.04.2019)
7. Об утверждении методических рекомендаций по включению объектов топливно-энергетического комплекса в перечень объектов, подлежащих категорированию. Приказ Минэнерго России от 10 февраля 2012 года №48 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/420352689> (дата обращения: 05.04.2019)
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-27001-2006> (дата обращения: 05.04.2019)
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200112881> (дата обращения: 05.04.2019)
10. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 Системы энергетического менеджмента Требования и руководство по применению. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-50001-2012> (дата обращения: 05.04.2019)
11. ГОСТ Р ИСО 19011:2012 Руководящие указания по проведению аудитов систем менеджмента. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-19011-2012> (дата обращения: 05.04.2019)
12. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 Методы и средства обеспечения безопасности Менеджмент информационной безопасности. Измерения. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-27004-2011> (дата обращения: 05.04.2019)
13. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности требования к органам, осуществляющим аудит и сертификацию систем менеджмента информационной безопасности - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-27006-2008> (дата обращения: 05.04.2019)
14. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006974> (дата обращения: 05.04.2019)
15. ГОСТ Р 51583-2014 Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения. - URL: <http://docs.cntd.ru/>

document/ 1200108858 (дата обращения: 05.04.2019)

16. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51275-2006> (дата обращения: 05.04.2019)

17. ГОСТ Р МЭК 62443-2-1-2015 Сети коммуникационные промышленные. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы. Часть 2-1. Составление программы обеспечения защищенности (кибербезопасности) системы управления и промышленной автоматики. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121982> (дата обращения: 05.04.2019)

18. ГОСТ Р 22.1.13-2013 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мероприятия по гражданской обороне, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Требования к порядку создания и эксплуатации». - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105686> (дата обращения: 05.04.2019)

АННОТАЦИИ  
ABSTRACTSД.Н. Ахунов  
ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Ключевые слова:* математическая модель, системный подход, алгоритм управления, сети Петри.

В работе рассматривается совершенствование системы управления производством гранулированных материалов в рамках стратегии системного подхода. Предлагается алгоритм управления в системе реального времени, основанный на имитационной модели производства в виде временной сети Петри.

И.В. Бадыков, И.Ю. Мышкина, Л.Ю. Грудцына  
РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ МАШИННОГО  
ОБУЧЕНИЯ TENSORFLOW

*Ключевые слова:* нейронные сети, глубокое обучение, распознавание образов, состояние водителя.

В статье исследуется возможность применения библиотеки машинного обучения TensorFlow для распознавания состояний человека по фотографии. Рассматриваются состояния бодрствования, засыпания и сна. Решаемая в рамках статьи задача является частной задачей, возникающей при разработке систем слежения за состоянием водителя для предупреждения возникновения опасных ситуаций на дорогах.

С.Н. Буликов, В.С. Пашичев  
ИНСТРУМЕНТ КОМПЬЮТЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

*Ключевые слова:* адекватность плановых и фактических показателей строительства, технология блокчейн, унифицированное наименование и компьютерное кодирование частных строительных потоков, инструмент такого кодирования.

В статье кратко обоснована необходимость компьютерного кодирования строительно-монтажных работ по предлагаемой схеме и представлен авторский инструмент такого кодирования.

Т.В. Зайцева, Н.П. Путивцева, О.П. Пусная, Г.А. Кривошапова,  
А.А. Яркина, В.Н. Пономарева, Е.А. Пронина  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССОВ МЕТОДОЛОГИЙ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

*Ключевые слова:* проект, управление проектами, методология. В работе представлены результаты проведенного анализа литературных источников и ресурсов сети Интернет по вопросу обоснования выбора методологии управления проектами. Результатом исследования явилась разработанная процедура выбора наиболее подходящей методологии для конкретного проекта.

Г.Е. Кокиева, А.В. Базан  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ОБСТАНОВКИ И  
ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ДТП

*Ключевые слова:* дорожно-транспортное происшествие, движение транспорта, развязка, фиксация объектов, технология осмотра, транспортный поток, осмотр объекта, сохранение информации, фотографическая фиксация, фотоматериалы, формированию целостного объемного изображения объекта.

Осмотр места совершения дорожно-транспортного происшествия (ДТП) всегда создает неудобства для транспортного потока. Часто это вызывает «пробки», блокирует отдельные дорожные направления, развязки. В определенной степени это сказывается на общем ритме движения транспорта, безопасности и экономике. Для сохранения доказательственного значения цифровых изображений, полученных при осмотре места происшествия,

D.N. Akhunov  
USE OF PETRI NETS IN THE GRANULAR MATERIALS  
MANUFACTURING

*Keywords:* mathematical model, system approach, control algorithm, Petri nets.

In the paper improvement of the granular materials production management system through systematic approach strategy is considered. Real-time system control algorithm, based on the imitation manufacturing model as a contemporary Petri net is proposed.

I.V. Badykov, I.Yu. Myshkina, L.Yu. Grudtsyna  
RECOGNITION OF HUMAN STATES WITH THE USE OF  
TENSORFLOW MACHINE TRAINING LIBRARY

*Keywords:* neural networks, deep learning, image recognition, state of driver.

In the article the main emphasis is laid on the applicability of machine learning of TensorFlow in order to distinguish different states of a man judging by his photo. Sleeping, falling into sleep and staying active are under focus. The task dwelt within the article is a specific task, targeting at avoiding dangerous situations on the roads by means of deciphering a driver's states of activity.

S.N. Bulikov, V.S. Pashichev  
TOOL FOR COMPUTER CODING  
CONSTRUCTION AND INSTALLATION WORKS

*Keywords:* adequacy of planned and actual performance of construction, the blockchain technology, a unified name and computer coding of small construction flows, the instrument of such a coding.

The article briefly substantiates the need for computer coding of construction and installation works according to the proposed scheme and presents the author's tool of such coding.

T.V. Zaitseva, N.P. Putivtseva, O.P. Pusnaya,  
G.A. Krivoschapova, A.A. Yarkina, V.N. Ponomareva,  
E.A. Pronina  
COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSES OF PROJECT  
MANAGEMENT METHODOLOGIES

*Keywords:* project, project management, methodology. The paper presents the results of the analysis of literature sources and Internet resources on the issue of justifying the choice of project management methodology. As the result of the research the procedure for selection of the most appropriate methodology for a particular project was developed.

G.E. Kokieva, A.V. Bazan  
THE USE OF COMMUNICATION TECHNOLOGIES TO  
FIX THE ENVIRONMENT AND OBJECTS IN SPACE IN  
CASE OF AN ACCIDENT

*Keywords:* traffic accident, traffic, interchange, fixation of objects, inspection technology, traffic flow, object inspection, information storage, photographic fixation, photographic materials, formation of a complete three-dimensional image of the object.

Inspection of the place of Commission of road accident (road accident) always creates inconveniences for a traffic flow. Often it causes "traffic jams", blocks separate road directions, interchanges. To some extent, this affects the overall rhythm of transport, security and the economy. To preserve the evidentiary value of the digital images obtained during the inspection of the scene, two methods can be proposed to ensure the full reliability of the information. First of all, a possible option is to use a camera kit and a printer that allows you to

можно предложить два способа, обеспечивающих полную достоверность информации. Прежде всего возможным вариантом является использование комплекта фотокамеры и принтера, позволяющего производить распечатку изображений сразу же после фотографирования. Такие комплекты компактны и уже не являются чем-то исключительным. Положительная сторона этого состоит в том, что понятия могут сразу же поставить подписи под фотографиями, что подтвердит достоверность снимка и снимет вопрос о возможности каких-то манипуляций с цифровым изображением. К тому же резко сокращается время изготовления фототаблицы, так как не надо ждать, когда специалист проявит пленку и изготовит снимки. Этот вариант не предполагает дополнительных процессуальных действий и может реально принести пользу, особенно по делам, где речь идет о возможности розыска "по горячим следам".

Г.Е. Кокиева, Т.И. Васильева, И.А. Савватеева  
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ  
МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО  
АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ФУНКЦИЮ УЧЁТА  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ключевые слова: разработка программного продукта, потребитель, продажа товаров, мобильная разработка, автоматизация функции учета, операционная система, приложение, стадия проектирования, компьютерная сеть, деятельность, фрагменты системы.

Обычно программы разрабатываются в расчете на то, чтобы ими могли пользоваться люди, не участвующие в их разработке (их называют пользователями). Для освоения программы пользователем помимо ее текста требуется определенная дополнительная документация. Программа или логически связанная совокупность программ на носителях данных, снабженная программной документацией, называется программным средством (ПС). Программа позволяет осуществлять некоторую автоматическую обработку данных на компьютере. Программная документация позволяет понять, какие функции выполняет та или иная программа ПС, как подготовить исходные данные и запустить требуемую программу в процесс ее выполнения, а также: что означают получаемые результаты (или каков эффект выполнения этой программы). Кроме того, программная документация помогает разобраться в самой программе, что необходимо, например, при ее модификации.

Г.Е. Кокиева, Ю.Ж. Дондоков, Н.И. Кондакова, С.В. Хамарова  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА  
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Ключевые слова: сушка зерна, уборочные работы, сырое зерно, температура, равномерная сушка, длительное хранение зерна, зерновые сушилки, зерновая культура, температурный режим, активное вентилирование.

Ускорение темпов развития сельского хозяйства, превращение его в крупную высокотехнологизированную отрасль выдвигают организационные вопросы на первый план в общей системе мероприятий, направленных на повышение эффективности общественного производства. Одним из главных направлений повышения качественных показателей зерна и семян, является совершенствование технологии их обработки путём использования приёмно-вентилирующих отделений для зернового вороха. Приведено краткое обоснование пути повышения эффективности функционирования процесса активного вентилирования, обеспечивающие сохранность материала при минимальных энергозатратах.

Г.Е. Кокиева, А.С. Филатов  
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДАННЫЕ АППАРАТА ДЛЯ  
МИКРОБНОГО СИНТЕЗА

Ключевые слова: массообмен, аппарат, биореактор, массопередача, газосодержание, производительность, циркуляция, зона, микробиологические условия, непрерывный

print images immediately after photographing. Such kits are compact and are no longer something exceptional. The positive side of this is that witnesses can immediately put captions under the photos, which will confirm the authenticity of the picture and remove the question of the possibility of any manipulation of the digital image. In addition, the production time of the photo table is sharply reduced, since you do not have to wait for the specialist to develop the film and produce pictures. This option does not involve additional procedural actions and can really benefit, especially in cases where it is a question of the possibility of search "hot pursuit".

G.E. Kokieva, T.I. Vasilyeva, I.A. Savvateeva  
DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS FOR  
MOBILE DEVICES THAT ALLOWS YOU TO AUTOMATE  
THE ACCOUNTING FUNCTION ACTIVITIES IN THE  
ENTERPRISE

Keywords: software development, consumer, sale of goods, mobile development, automation of accounting functions, operating system, application, design stage, computer network, activity, system fragments.

Typically, programs are designed so that they can be used by people who are not involved in their development (they are called users). For the development of the program by the user in addition to its text requires some additional documentation. A program, or a logically related set of programs on a data medium that is equipped with software documentation, is called a software tool (PS). The program allows some automatic data processing on the computer. Software documentation allows you to understand what functions are performed by a particular program of the UA, how to prepare the source data and run the required program in the process of its execution, as well as: what the results mean (or what the effect of this program). In addition, the software documentation helps to understand the program itself, which is necessary, for example, when modifying it.

G.E. Kokieva, Z.Y. Dondokov, N.I. Kondakova,  
S.V. Hamarova

THE STUDY OF POST-HARVEST PROCESSING OF  
GRAIN IN THE CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA

Keywords: grain drying, harvesting, raw grain, temperature, uniform drying, long-term storage of grain, grain dryers, grain culture, temperature regime, active ventilation.

Acceleration of rates of development of agriculture, its transformation into the large highly mechanized branch put forward organizational questions to the fore in the General system of the actions directed on increase of efficiency of public production. One of the main directions of improving the quality of grain and seeds, is to improve the technology of their processing by using the receiving and ventilating compartments for the grain heap. A brief justification of the way to improve the efficiency of the process of active ventilation, ensuring the safety of the material with minimal energy consumption.

G.E. Kokieva, A.S. Filatov  
THE STUDY OF HYDRODYNAMIC PARAMETERS  
DESCRIBING THE DETAILS OF THE APPARATUS FOR  
MICROBIAL SYNTHESIS

Keywords: mass transfer, apparatus, bioreactor, mass transfer, gas content, productivity, circulation, zone, microbiological conditions, continuous method, apparatus, productivity,

способ, аппарат, производительность, растворенный кислород, скорость, концентрация, единичная мощность, процесс, принцип газлифта.

Кормовой белок вырабатываются по сложной технологической цепочке, которая предусматривает биохимические, механические и тепловые изменения. В зависимости от протекания данных факторов нормальным считается выход кормовых дрожжей (в сухом весе) 40...50 % от используемых сахаров различного происхождения. Ключевым моментом в получении кормовых дрожжей является подвод аэрирующего газа. Одним из основных гидродинамических параметров, характеризующих данные ферментатора является газосодержание и массообмен в культуральной жидкости, скорость жидкой и газовой фаз, кратности и скорости циркуляции.

Г.Е. Кокиева, А.Г. Черкашина, Т.И. Афанасьева  
ПРОИЗВОДСТВО МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ КОРМОВОГО БЕЛКА

Ключевые слова: микробная биомасса, добавка, микробный синтез, продуцент, скорость роста, штамм, технология, получения кормового белка, развитие животноводства, сбалансированный продукт, биологическая ценность.

В настоящее время в Республике Саха (Якутия) накоплен уникальный опыт кормления сельскохозяйственных животных в экстремальных климатических условиях Севера. Адаптированы, разработаны и применяются различные технологии на вечной мерзлоте. Для агропромышленного производства остаются актуальными вопросы повышения обеспеченности кормами. Использование процесса микробного синтеза в производстве кормового белка дает чистый, экологический продукт. Это восполнит дефицит кормов в вскармливании сельскохозяйственных животных. Данный процесс даст сбалансированный, биологически чистый продукт.

Ю.Н. Кондрашов  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, хранилище данных, OLAP, Data mining, архитектура аналитической системы.

В работе рассматриваются вопросы использования современных аналитических технологий в системах поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла аэрокосмических изделий в форме гибкого многофункционального инструментария аналитических исследований. Рассматриваются базовые аналитические технологии, архитектура их встраивания в системы поддержки принятия решений, возможности реализующего программного обеспечения.

В.В. Кукарцев, А.А. Павленко  
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Ключевые слова: непараметрический алгоритм оптимизации, оптимальные параметры, ядерная функция.

Проанализирован непараметрический алгоритм глобальной оптимизации. Исследования проводились на функции Акли, функции Растргина, функции Шекеля, функции Гриванка и функции Розенброка. Исследования проводились на трех алгоритмах разброса начальных точек: ЛПт последовательность, UDC последовательность, равномерный случайный разброс. Подобрана ядерная функция, параметр – гамма, параметр «Р», параметр «Q» у данного алгоритма на данных тестовых функциях для данных алгоритмов разброса начальных точек.

dissolved oxygen, speed, concentration, unit power, process, gas lift principle.

Feed protein is produced through a complex process chain that involves biochemical, mechanical and thermal changes. Depending on the course of these factors is considered normal yield of fodder yeast (dry weight) 40...50 % of the sugars used are of different origin. The key point in obtaining feed yeast is the supply of aerating gas. One of the main hydrodynamic parameters characterizing the data of the fermenter is the gas content and mass transfer in the culture liquid, the rate of liquid and gas phases, multiplicity and circulation rate.

G.E. Kokieva, A.G. Cherkashina, T. I., Afanasyeva  
THE INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS FOR OBTAINING FODDER PROTEIN

Keywords: microbial biomass, additive, microbial synthesis, producer, growth rate, strain, feed protein production technology, livestock development, balanced product, biological value.

Now in the Republic of Sakha (Yakutia) unique experience of feeding of farm animals in extreme climatic conditions of the North is saved up. Various permafrost technologies have been adapted, developed and applied. For agro-industrial production, the issues of increasing the provision of feed remain relevant. Using the process of microbial synthesis in the production of feed protein gives a clean, ecological product. This will make up for the shortage of feed in the feeding of farm animals. This process will give a balanced, biologically pure product.

Y.N. Kondrashov  
USE OF ANALYTICAL TECHNOLOGIES IN THE SYSTEMS OF SUPPORTING DECISION-MAKING AT THE STAGES OF THE LIFE CYCLE OF AEROSPACE PRODUCTS

Keywords: decision support system, data warehouse, OLAP, Data mining, analytical system architecture.

The paper deals with the use of modern analytical technologies in decision support systems at the stages of the life cycle of aerospace products in the form of flexible multifunctional tools for analytical research. We consider the basic analytical technologies, the architecture of their embedding in decision support systems, the possibility of implementing software.

V.V. Kukartsev, A.A. Pavlenko  
SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS OF A GLOBAL OPTIMIZATION NONPARAMETRIC ALGORITHM

Keywords: non-parametric optimization algorithm, optimal parameters, nuclear function.

The nonparametric algorithm of global optimization is analyzed. The studies were carried out on functions of Akli, functions of Rastrigin, functions of Shekel, functions of Grivanka and functions of Rosenbrock. The studies were conducted on three initial point spread algorithms: LP $\tau$  sequence, UDC sequence, uniform random variation. The nuclear function is selected, the parameter is gamma, the parameter "P", the parameter "Q" for the given algorithm on the given test functions for the given algorithms of the spread of initial points

А.В. Ломазов, В.И. Ломазова, В.В. Ломакин, Р.Г. Асадуллаев  
ОЦЕНКА УДОБСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ  
ПЛАТФОРМЫ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ  
ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
АНКЕТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

*Ключевые слова:* программные средства, оценка качества, корпоративные приложения, лингвистические переменные, нечеткий логический вывод.

Статья посвящена проблеме оценивания качества программных средств. Применительно к оценке средств разработки корпоративных приложений предложено формализованное представление оценочных элементов удобства применения программных средств и результирующих данных анкетирования пользователей в виде лингвистических переменных Заде. Разработана основанная на использовании алгоритма Мамдани процедура нечеткого логического вывода, позволяющая определить значения оценочных элементов по результатам анкетирования на основе нечетких продукционных правил.

Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, О.В. Бестужева, О.П. Пусная, И.В. Гурьянова, Ш.А. Халилов  
ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ  
СРАВНЕНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ ШИФРОВАНИЯ ФАЙЛОВ И  
ПАПОК

*Ключевые слова:* формализованная методика, программы шифрования, экспертный лист.

В работе представлены результаты применения формализованной методики для проведения сравнительного анализа программ для шифрования файлов и папок. Для сравнения программ используется формализованная методика, предложенная А.М. Блюминым. Были отобраны для сравнения альтернативные программы для шифрования файлов и папок по сформированным критериям сравнения.

Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, Т.А. Лысакова, О.П. Пусная, Л.А. Губкина, В.В. Шchetкина  
ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА АНТИВИРУСНОГО  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Ключевые слова:* антивирусное программное обеспечение, формализованная оценка, характерные признаки сравнения, методика Блюмина.

В работе представлены результаты проведения процедуры выбора антивирусного программного обеспечения на основе существующей формализованной методики. Для данного класса программного обеспечения выбраны наиболее значимые признаки, как положительные, так и отрицательные, для которых на основе экспертного мнения заданы коэффициенты весомости и количество градаций по каждому признаку, рассчитаны значения уровней градаций. Проведена апробация предложенной методики на примере антивирусных программ бесплатной ценовой категории.

А.П. Буйносов, Е.В. Федоров, К.Н. Яковлев, А.В. Хваловский  
РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО  
ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Ключевые слова:* железная дорога, подвижной состав, локомотив, вагон, торможение, электропневматическое, беспроводное, разработка.

В статье приводятся требования для разработки системы беспроводного электропневматического торможения локомотивами и вагонами на железных дорогах Российской Федерации. Приводятся достоинства и недостатки новой системы торможения.

А.Н. Глубокая, В.В. Бухтояров  
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ РЕГУЛЯТОРОВ

*Ключевые слова:* нейроуправление, ректификационная колонна, прогнозирующее управление.

Объектом исследования является колонна для ректификации

A.V. Lomazov, V.I. Lomazova, V.V. Lomakin, R.G. Asadullaev  
ESTIMATION OF USABILITY OF THE CORPORATE  
APPLICATIONS INTEGRATED DEVELOPMENT  
PLATFORM BASED ON THE RESULTS OF USERS'  
QUESTIONNAIRE SURVEYS

The article is devoted to the problem of evaluating the quality of software. With regard to the assessment of enterprise application development tools, a formalized presentation of usability indicators (ease of use, availability of operational software documents, ease of operation and maintenance) in the form of Zadeh linguistic variables has been proposed. A fuzzy inference procedure based on the use of the Mamdani algorithm which allows determining the values of indicators based on user survey data has been developed.

*Keywords:* software, quality assessment, questionnaire surveying, corporate applications, linguistic variables, fuzzy inference.

N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, O.V. Bestuzheva, O.P. Pusnaya, I.V. Gurjanova, Sh.A. Khalilov  
THE USE OF FORMALIZED METHODS FOR  
COMPARISON OF PROGRAMS TO ENCRYPT FILES AND  
FOLDERS

*Key words:* formalized technique, encryption programs, expert sheet.

The paper presents the results of the use of formalized methods for conduction of comparative analysis of programs for encrypting files and folders. For comparison of programs the formalized technique offered by A.M. Blumin is used. Alternative programs for encrypting files and folders were selected for comparison according to the formed comparison criteria.

N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, T.A. Lysakova., O.P. Pusnaya., L.A. Gubkina, V.V. Shchetkina  
APPLICATION OF A FORMALIZED METHODOLOGY TO  
SOLVE THE PROBLEM OF ANTI-VIRUS SOFTWARE  
SELECTION

*Key words:* antivirus software, formalized assessment, characteristic signs of comparison, Blumin's method.

The paper presents the results of the procedure of the selection of antivirus software on the basis of the existing formalized methodology. For this class of software, the most significant features, both positive and negative, were selected. On the basis of expert opinion, weighting factors and the number of gradations for each attribute were determined, and the values of gradation levels for the significant features were calculated. Approbation of the proposed method for the example of free-of-charge antivirus software was carried out.

A.P. Buinosov, E.V. Fedorov, K.N. Yakovlev, A.V. Chvalovsky  
DEVELOPMENT OF A WIRELESS ELECTRO-  
PNEUMATIC BRAKE OF RAILWAY ROLLING STOCK  
*Keywords:* railway, rolling stock, locomotive, wagon, braking, electro-pneumatic, wireless, development.

The article presents the requirements for the development of wireless electro-pneumatic braking system by locomotives and cars on the Railways of the Russian Federation. The advantages and disadvantages of the new braking system are given.

A.N. Glubokaya, V.V. Bukhtoyarov  
CONTROL PROCESS OF OIL FRACTIONATION  
PROCESS USING PREDICTIVE CONTROLLERS

*Keywords:* neural controller, distillation column, model predictive control.

The object of the study is the column to distillation oil. This



нефти. В работе рассматривается система управления ректификационной колонны для регулирования температуры верха колонны. Проведен анализ применения систем управления основанных на нейросетевом регулировании и на ПИД-регулировании.

**В.А. Егоров**  
**ТИПОВАЯ НАСТРОЙКА ДЛЯ СИСТЕМЫ**  
**АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Ключевые слова:** типовая настройка, система автоматического управления, регулятор, сервосистема.

Предлагается «типовая» настройка, с асимптотической логарифмической амплитудно-частотной характеристикой разомкнутой системы -60 -20 -60 дБ/дек (-3 -1 -3). Приведён пример использования настройки для расчета регулятора положения сервосистемы.

**Е.В. Зубков, Д.М. Корнилов, А.С. Орда, В.С. Салин**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ**  
**ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИМИТАЦИЕЙ РЕАЛЬНЫХ**  
**УСЛОВИЙ ВОЖДЕНИЯ В СРЕДЕ SIMINTECH**

**Ключевые слова:** дизельный двигатель; моделирование; испытание; имитация, нагрузка.

Работа посвящена созданию усовершенствованного инструментария стендовых исследований дизельных двигателей для грузовых транспортных средств на основе технологии виртуально-физических испытаний, которая позволяет уменьшить стоимость проведения исследований. Основной проблемой здесь является разработка математической модели дизельного двигателя, описывающей его работу с приемлемой точностью при имитации реальных условий вождения. Имитация проводится в среде динамического моделирования технических систем SimInTech.

**Т.Г. Орешенко, О.А. Бочарова, А.С. Свиридова,**  
**В.С. Тынченко, А.Н. Бочаров**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ**  
**ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ НАГРЕВЕ**

**Ключевые слова:** электронно-лучевая сварка, электронно-лучевой нагрев, распределение температур, нагрев, поле температур, моделирование температур.

В статье рассматривается исследование и создание математической модели распределения температуры при электронно-лучевом нагреве в зависимости от технологических параметров. Особенностью этой математической модели является ее применение в процессе получения сварных швов деталей из алюминиевых сплавов.

**А.Х. Санакулов, И.Р. Ахметзянов, К.З. Фатыхов**  
**УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**  
**УДАЛЕНИЕМ ЛЬДА С ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ**  
**НАПРЯЖЕНИЕМ 110KV**

**Ключевые слова:** устройство для плавки льда; воздушная линия электропередачи; трансформатор; блок управления; датчик; тиристор; конденсаторная батарея.

В работе представлены метод и устройство для удаления льда с проводов воздушных линий электропередачи напряжением 110кВ, реагирующее на первые признаки их обледенения и осуществляющее плавку льда в автоматическом режиме без отключения потребителей от источника питания.

**В.А. Соловьев, Н.Е. Дерюжкова, Чжо Аунг Хтет, В.В. Тетерин**  
**НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ**  
**ПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТЕРЖНЕВОЙ**  
**УСТАНОВКИ**

**Ключевые слова:** процесс формирования, нечеткое регулирование, изгиб.

В статье рассматривается вопрос применения нечеткого регулирования при управлении системой позиционных электроприводов стержневой установки. Реализованы нечеткие регуляторы положения и скорости. Проведено сравнение результатов работы системы с нечетким регулятором и с ПИ-регулятором. Моделирование системы выполнено в среде MatLAB.

paper deals with the control system of the distillation column to control the temperature of the top of the column. The analysis of the application of control systems based on neural network regulation and PID regulation.

**V.A. Egorov**  
**TYPICAL ADJUSTMENT FOR AUTOMATIC CONTROL**  
**SYSTEM**

**Keywords:** typical setting, automatic control system, regulator, servo system.

A “typical” setting is proposed, with an asymptotic logarithmic amplitude-frequency characteristic of the open-loop system -60 -20 -60 db/dec (-3 -1 -3). An example of using the setting for calculating the servo position controller is given.

**E.V. Zubkov, D.M. Kornilov, A.S. Orda, V.S. Salin**  
**AUTOMATION OF PROCESS OF TESTS OF THE DIESEL**  
**ENGINE WITH IMITATION OF REAL CONDITIONS OF**  
**DRIVING IN THE ENVIRONMENT OF SIMINTECH**

**Keywords:** diesel engine; modeling; test; imitation, loading.  
Work is devoted to creation of advanced tools of bench probes of diesel engines for cargo vehicles on the basis of technology of virtual and physical tests which allows to reduce the cost of carrying out probes. The main problem is development of the mathematical model of the diesel engine describing its work with acceptable accuracy at imitation of real conditions of driving here. Imitation is carried out in the environment of dynamic modeling of the technical SimInTech systems.

**T.G. Oreshenko, O.A. Bocharova, A.S. Sviridova,**  
**V.S. Tynchenko, A.N. Bocharov**  
**MODELING OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN**  
**ELECTRON BEAM HEATING**

**Keywords:** electron beam welding, electron beam heating, temperature distribution, heating, temperature field, temperature modeling.

The article deals with the study and creation of a mathematical model of temperature distribution in electron-beam heating, depending on the technological parameters. The peculiarity of this mathematical model is its application in the process of obtaining welds of parts from aluminum alloys.

**A.K. Sanakulov, I.R. Akhmetzyanov, K.Z. Fatykhov**  
**AUTOMATIC CONTROL DEVICE REMOVING ICE FROM**  
**THE WIRES OF OVERHEAD LINES WITH VOLTAGE**  
**110 KV**

**Keywords:** device for melting ice; air power line; transformer; control unit; sensor; thyristor; capacitor Bank.

The paper presents a method and device for removing ice from the wires of overhead power lines with a voltage of 110 kV, reacting to the first signs of icing and carrying out ice melting in automatic mode without disconnecting consumers from the power source.

**V.A. Solovyov, N.E. Deryuzhkova, Kyaw Aung Htet,**  
**V.V. Teterin**  
**FUZZY CONTROL IN THE REGULATING SYSTEM OF**  
**POSITIONAL ELECTRIC DRIVES OF THE ROD**  
**INSTALLATION**

**Keywords:** forming process, fuzzy control, bending.  
The question of the applying fuzzy control in positional control system of actuators for forming plant is considered. Fuzzy position and speed controllers are implemented. Comparisons of the results between using fuzzy controller and PI controller are presented. System modeling was performed in MatLAB environment.

Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев, Л.Б. Хузятова  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КОНФИГУРИРОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Ключевые слова:* автоматизированная система управления, конфигурирование, шаблонное проектирование, диспетчерское управление.

Предложен метод автоматизированного конфигурирования объектов проекта диспетчерского управления, который характеризуется большим количеством параметров и данных, а также их многообразной взаимосвязью. Система, реализованная на основе предложенного метода, конфигурирует статические и динамические свойства объектов экрана процесса, создает обработчики событий графических объектов, а также определяет архивные теги и условия появления аварийных сообщений.

М.В. Беленко, Н.С. Бурым, П.В. Балакшин  
СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА  
РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

*Ключевые слова:* распознавание речи, ASR, Kaldi, CMU Sphinx, тестирование, конфигурация.

В рамках работы был проведено исследование современных систем автоматического распознавания речи. Определены системы, позволяющие изменять конфигурацию параметров. Продемонстрированы различия в конфигурации параметров систем с открытым исходным кодом. Предложен способ использования Docker-контейнеров для унификации запуска систем распознавания и дальнейшего сравнения таких систем между собой. Выбраны метрики, позволяющие эффективно оценивать качество распознавания речи. В результате сформированы функциональные требования и предложено архитектурное решение для системы автоматизации тестирования и анализа систем распознавания речи.

Д.В. Горбачев, О.Ю. Кузнецов, О.А. Ямников  
ДИСКРЕТНО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ ПАЦИЕНТА

*Ключевые слова:* медицинский эффект, исходы лечения, пациент, врач, тяжесть заболевания, граф состояний, матрица переходов, модель пациента, стохастические продукты.

Обеспечение высококачественной медицинской помощи – это одна из приоритетных и актуальных задач управления медицинской организацией. Процессы управления в современной больнице сложны и многоаспектны в связи с чем, их исследование, как правило, проходит в слабо формализуемой среде. Преимущественно, такой средой являются структурно-функциональные модели, дающие лишь общее представление о процессах медицинской организации. Между тем, поскольку основная деятельность медицинской организации направлена на оказание медицинской помощи, и основным действующим лицом в этом процессе является пациент, важным является знание всеми уровнями управления его текущего состояния и прогнозов возможных изменений этих состояний. Традиционно врач при составлении прогноза лечения заболевания опирается на требования стандартов и порядков оказания медицинской помощи, а также на свой опыт и существующую статистику. Предлагаемый в данной работе подход позволяет формализовать пространство состояний пациента и определить область вероятных исходов лечения.

Т.С. Алероев, С.В. Ерохин, О.О. Рошка  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ НА ОСНОВЕ  
ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

*Ключевые слова:* моделирование финансовых рынков, валютные котировки, фрактальные временные ряды, фрактальный анализ, функция плотности вероятности, дробное дифференциальное уравнение.

В работе рассматривается моделирование финансовых рынков с применением фрактального анализа. Взяты котировки пары российский рубль/доллар США. Фрактальный анализ рассматривается на основе исследования временного ряда

Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev, L.B. Khuzyatova  
AUTOMATED CONFIGURING THE SUPERVISOR  
CONTROL SYSTEM

*Keywords:* automation, supervisor control, configuration, pattern design.

The method for automated configuration of WinCC project objects which is characterized by a large number of parameters and data, as well as their diverse interconnection, is proposed. The system implemented on the basis of the proposed method automatically configures the static and dynamic properties of the process screen objects, creates event handlers for graphic objects, as well as determines archive tags and conditions for the appearance of emergency messages.

M.V. Belenko, N.S. Buryim, P.V. Balakshin  
WAY TO AUTOMATE VARIOUS SPEECH  
RECOGNITION SYSTEMS TESTING AND ANALYSIS

*Keywords:* speech recognition, ASR, Kaldi, CMU Sphinx, testing, configuration.

In this work the research of modern speech recognition systems was made. Systems that allow configuration parameter changes were identified. Differences in the configuration parameters of systems with open source were demonstrated. A way of using Docker containers was proposed for unifying the launch of recognition systems and further comparison of such systems among themselves. Metrics are selected to effectively evaluate speech recognition quality. As a result, functional requirements were formed, and an architectural solution was proposed for speech recognition systems testing and analysis automation system.

D.V. Gorbachev, O.U. Kuznetsov, O.A. Aymnikov  
DISCRETE-STOCHASTIC MODEL FOR ANALYZING  
THE PATIENT'S STATE SPACE

*Keywords:* medical effect, result of treatment, patient, doctor, disease severity, state graph, matrix of transitions, patient's model, stochastic products

Ensuring high-quality medical care is one of priority and relevant tasks to control of the medical organization. Management processes in modern hospital are difficult and multidimensional in this connection, their research, as a rule, takes place in poorly formalizable environment. Mainly, such environment are the structurally functional models giving only a general idea about processes of the medical organization. Meanwhile, as primary activity of the medical organization is directed to delivery of health care, and the main character in this process is the patient, knowledge all levels of management of its current state and forecasts of possible changes of these states is important. Traditionally the doctor by drawing up the forecast of treatment of a disease relies that requirements of standards and orders of delivery of health care and also on the experience and the existing statistics. The approach offered in this work allows to formalize space of conditions of the patient and to define area of probable result of treatment.

T.S. Aleroev, S.V. Erokhin, O.O. Roshka  
MODELING OF FINANCIAL MARKETS USING  
FRACTAL ANALYSIS

*Keywords:* modeling of financial markets, currency quotations, fractal time series, fractal analysis, probability density function, fractional differential equation

This paper considers the modeling of financial markets using fractal analysis. Quotes of the Russian ruble / US dollar pair are taken. Fractal analysis is considered on the study basis of the time series of quotations, it is proved that the financial markets can be modeled using fractal analysis used in the

котировок, доказано, что финансовые рынки можно моделировать с помощью фрактального анализа, применяемого в работе. Графики волатильности сравнены в разные моменты времени с графиками решения известного дробного дифференциального уравнения блуждания точечной частицы по самоподобному фрактальному множеству. Решение такого уравнения выписывается с помощью функций Миттаг-Леффлера. Таким образом, данные результаты помогут смоделировать процессы прогнозирования поведения рынка в будущем.

А.Е. Гилёва

#### ВОЛНОВАЯ И ОБОЛОЧЕЧНАЯ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ СОУДАРИИ С ПОРАЖАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

**Ключевые слова:** многослойная тканая преграда, поражающий элемент, энергопоглощение, стадия уплотнения, гипотеза Редди.

В работе рассматриваются механические процессы соударения многослойного тканого материала с жестким поражающим элементом. Начальная стадия соударения состоит в уплотнении материала, оболочечная стадия описывается на основе гипотезы Редди с деформируемой нормалью. Перемещения и скорости в конце начальной стадии являются начальными условиями для оболочечной стадии.

А.Е. Гилёва

#### ЧИСЛЕННАЯ СХЕМА ВОЛНОВОЙ И ОБОЛОЧЕЧНОЙ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ СОУДАРИИ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНОГО МАТЕРИАЛА С ПОРАЖАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

**Ключевые слова:** разностная схема, шаг интегрирования, деформирование, многослойная тканая преграда, поражающий элемент.

В работе рассматривается решение уравнения движения на начальной стадии уплотнения материала: находятся скорости и перемещения на лицевой и обратной поверхности бронепакета, которые принимаются за начальные условия при расчёте оболочечной стадии. При интегрировании уравнения движения на оболочечной стадии применяется расщепление неявной разностной схемы.

Ю.Г. Егорова

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ

**Ключевые слова:** математическая модель, автоматизированная система отопления, сооружение, тепловые потери.

Описана методика проектирования системы отопления сооружений с использованием инфракрасных отопительных приборов. Произведен расчет тепловых потерь сооружения и построена модель системы отопления. Выполнено моделирование автоматизированной системы отопления, предназначенной для обогрева сооружения.

И.Х. Еникеев

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛА ЛЕБЕГА ПРИ РЕШЕНИИ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

**Ключевые слова:** дифференциальные уравнения, интеграл Лебега, многопараметрические функционалы.

В работе представлены результаты параметрического исследования систем линейных дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Показано, что при определенных значениях параметров в системе возникает резонанс, приводящий к появлению нелинейных колебаний.

С.С. Логинова, А.В. Дунцев

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

**Ключевые слова:** радиационная стойкость, радиоэлектронная аппаратура, ионизирующее излучение, прогнозирование. Объектом исследования являются различные методики оценки и

work. The states of flux graphs were compared in different time moments with the solution graphs of the known fractional differential equation of a point particle random walk along self-similar fractal sets. The solution of such an equation is given using the Mittag-Leffler functions. Thus, these results will help to model the processes of predicting the behavior of the market in the future.

A.E. Gileva

#### WAVE AND SHELL DEFORMATION STAGES OF MULTILAYERED WOVEN MATERIAL UNDER PROJECTILE IMPACT

**Keywords:** multilayer woven protection, damaging element, energy absorption, stage of compaction, the Reddy hypothesis. The paper deals with the mechanical impact processes of a multilayer woven material with a hard damaging element. The initial stage of impact is the compaction of the material, the shell stage is described on the basis of the Reddy hypothesis with a deformable normal. Displacements and velocities at the end of the initial stage are the initial conditions for the shell stage.

A.E. Gileva

#### THE NUMERICAL SCHEME FOR WAVE AND SHELL DEFORMATION STAGE AT IMPACT MULTILAYERED WOVEN FABRIC WITH DAMAGING ELEMENT

**Keywords:** difference scheme, integration step, deformation, multilayered woven protection, striking element.

The paper considers the solution of the motion equation at the initial stage of material compaction: the speed and movement are sought on the front and back surface of the armored package. These values are the initial conditions when calculating the shell stage. When integrating the equation of motion at the shell stage, an implicit difference scheme is applied.

J.G. Egorova

#### MATHEMATICAL MODEL OF AUTOMATED BUILDING HEATING SYSTEM

**Keywords:** mathematical model, automated heating system, building, heat loss.

The technique of designing a heating system for buildings using infrared heating devices is described. The calculation of heat losses of the structure was made and a model of the heating system was compiled. The simulation of an automated heating system designed to heat the structure was performed.

I.Kh. Enikeev

#### USING THE LEBESGUE INTEGRAL IN SOLVING SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS

**Keywords:** differential equations, Lebesgue integral, multiparameter functionals.

The paper presents the results of a parametric study of systems of linear equations with a discontinuous right-hand side. It is shown that for certain values of parameters a resonance occurs in the system, leading to the appearance of non-linear oscillations.

S.S. Loginova, A.V. Dunceev

#### RESEARCH OF METHODS OF FORECASTING OF RADIATION RESISTANCE OF ELECTRONIC EQUIPMENT

**Keywords:** radiation resistance, radio-electronic equipment, ionizing radiation, forecasting.

The object of the study is a variety of methods for assessing and

*прогнозирования радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры. Рассмотрен переход от методик, основанных на статистическом подходе, к методикам прогнозирования работоспособности приборов, основанных на физико-технологическом подходе, то есть на построении физического закона поражения.*

Г.М. Мучкаева, И.С. Мانتышев, Ф.Б. Мукарамов,  
М.С. Насрединов, Ф.А. Тургунов, А.Ж. Садыкова,  
Г.А. Пайзыева

**МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ЧИСЛЕННЫХ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
АГРОЦЕНОЗОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСНОГО СНАБЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ  
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

*Ключевые слова: технология, производственная функция, численные эксперименты, имитационная модель.*

*Представлен метод, позволяющий закладывать численные эксперименты, выполненные в сценарных изысканиях в зависимости от данных, полученных в полевых опытах, посредством применения имитационной модели сельскохозяйственных культур. Приведена статистическая модель, представляющая собой зависимость регрессионного характера, применяемая для расчета оптимизационной задачи.*

Н.Г. Очиров, Е.А. Ельникова, Г.М. Мучкаева  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
МТА И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ MATHCAD**

*Ключевые слова: эксплуатационные допуски, энергетические параметры, дисперсия эффективной мощности.*

*Представлено применение программы Mathcad для моделирования допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов с использованием численных методов, для снижения трудоемкости расчетов.*

Н.Г. Очиров, Е.А. Ельникова, Г.М. Мучкаева  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ МТА В СРЕДЕ MATHCAD**

*Ключевые слова: вероятностно-статистическая оценка, математическое ожидание, эффективная мощность, функция связи.*

*Представлено применение программы Mathcad для моделирования энергетических параметров машинно-тракторных агрегатов с использованием вероятностно-статистических характеристик для снижения трудоемкости.*

Е.А. Петровичева, И.М. Ильина  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРБУЛИЗАЦИИ ПОТОКА В  
ТРУБЧАТЫХ АППАРАТАХ**

*Ключевые слова: турбулизация потока, интенсивность переноса, смешение.*

*В статье приводятся сравнительные результаты исследования турбулизации потока в трубчатых реакторах. Это позволяет использовать эти аппараты для быстрых химических и физических процессов промышленных производств.*

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, М. Нурышева,  
А.В. Свердлов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ R236ea НА  
ОСНОВЕ ПРАВИЛА СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА [3β]**

*Ключевые слова: линия насыщения, теплота парообразования, R236ea, средний диаметр, уравнение Клапейрона-Клаузиуса.*

*Обсуждается возможность использовать для моделирования линии насыщения чистых веществ системы уравнений, в которую входит уравнение линии упругости, уравнения паровой и жидкостной ветвей кривой сосуществования, уравнение «кажущейся» теплоты парообразования. При этом уравнения кривой сосуществования строятся на основе модели среднего диаметра  $f_d$ , в рамках которой в окрестности критической*

*predicting the radiation resistance of electronic equipment. The transition from the methods based on the statistical approach to the methods of predicting the performance of devices based on the physical and technological approach, that is, on the construction of the physical law of defeat.*

G.M. Muchkaeva, I.S. Mantashev, F.B. Mukaramov,  
M.S. Nasredinov, F.A. Turgunov, A.Zh. Sadykova,  
G.A. Paizieva

**METHODS OF SETTING NUMERICAL EXPERIMENTS  
ON THE SIMULATION MODEL OF AGRICULTURE FOR  
THE DEVELOPMENT OF OPTIMAL PARAMETERS OF  
RESOURCE SUPPLY TECHNOLOGIES OF  
CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS**

*Keywords: technology, production function, numerical experiments, simulation model*

*The method allowing to lay the numerical experiments executed in scenario researches depending on the data received in field experiments by means of application of simulation model of crops is presented. Given a statistical model representing the dependence of the regression of the character used for the calculation of the optimization problem.*

N.G. Ochirov, E.A. Elnikova, G.M. Muchkaeva  
**MODELING THE PERMISSIBLE MODES OF OPERATION  
OF MTA AND ITS IMPLEMENTATION IN MATHCAD**

*Keywords: operating tolerances, power parameters, the variance of the effective power.*

*The application of the Mathcad program for the simulation of permissible operating modes of machine-tractor units using numerical methods to reduce the complexity of calculations is presented.*

N.G. Ochirov, E.A. Elnikova, G.M. Muchkaeva  
**MODELING OF OPERATING PARAMETERS OF MTA IN  
MATHCAD**

*Keywords: probabilistic and statistical evaluation, mathematical expectation, effective power, the function of communication.*

*Presents the use of the software Mathcad, for the simulation of energy parameters of machine-tractor units with the use of probabilistic-statistical characteristics to reduce the complexity.*

Е.А. Петровичева, И.М. Ильина  
**A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TURBULENCE OF  
THE FLOW IN A TUBULAR APPARATUS**

*Keywords: turbulization of the flow, rate of migration, mixing. The article presents the comparative results of the study of flow turbulence in tubular reactors. This makes it possible to use these devices for fast chemical and physical processes of industrial production.*

S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, M. Nuryшева,  
A.V. Sverdlov

**SIMULATION OF R236ea SATURATION LINE BASED ON  
THE MEDIUM DIAMETER RULE [3β]**

*Keywords: saturation line, heat of vaporization, R236ea, average diameter, Clausius-Clapeyron equation.*

*The possibility of using the system of equations for modeling the saturation line of pure substances, which includes the equation of the line of elasticity, the equations of the vapor and liquid branches of the coexistence curve, the equation of the "apparent" heat of vaporization is discussed. In this case, the coexistence curve equations are constructed on the basis of the average diameter model  $f_d$ , within which the condition*

точки выполняется условие  $f_d \sim \tau^{3\beta}$ , где  $\beta$  – критический индекс кривой сосуществования. Предлагаемая модель линии насыщения апробирована на примере описания линии фазового равновесия экологически безопасного холодильного агента R236ea в диапазоне от тройной точки до критической точки.

Н.Н. Симченко

#### ФОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАРИАТИВНОЙ ЧАСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Ключевые слова: интеллектуальные методы, целочисленная оптимизация, критерий оптимальности, вариативная часть основной образовательной программы (ООП), ЗУН – знания, умения, навыки.

В работе рассматривается задача оптимизации содержания вариативной части образовательных программ подготовки IT-специалистов на основе применения интеллектуальных методов, для решения которой может быть успешно применен муравьиный алгоритм.

Ю.Д. Фот, Н.П. Мошуров, И.А. Щудро  
АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПРИ АУДИТЕ

#### АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Ключевые слова: аудит информационной безопасности, топливно-энергетический комплекс.

В статье представлен анализ нормативно-правовой базы ФСТЭК, ФСБ, Минэнерго, МЧС, Постановлений правительства, Федеральных законов и отраслевых стандартов при проведении аудита автоматизированных систем топливно-энергетического комплекса. Разработанный алгоритм проведения аудита, содержит поэтапные рекомендации, что позволит получить более объективные оценки и качественный анализ.

$f_d \sim \tau^{3\beta}$  is satisfied in the neighborhood of the critical point, where  $\beta$  is the critical index of the coexistence curve. The proposed saturation line model was tested on the example of describing the phase equilibrium line of the environmentally safe refrigerant R236ea from a triple point to a critical point.

N.N. Simchenko

#### THE FORMATION OF THE CONTENT OF THE VARIABLE PART OF THE PROFESSIONAL EDUCATIONAL PROGRAMS WITH THE USE OF INTELLIGENT METHODS

Keywords: intellectual methods, integer optimization, optimality criterion, variable part of the basic educational program (OOP), ZUN knowledge, skills.

The paper deals with the problem of optimizing the content of the variable part of educational programs for training IT-specialists based on the use of intelligent methods, which can be successfully used ant algorithm

Yu.D. Fot, N.P. Moshurov, I.A. Chudro  
ALGORITHM OF APPLICATION OF NORMATIVE-METHODICAL BASE AT AUDIT OF THE AUTOMATED SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY OF FUEL AND ENERGY COMPLEX

Keyword: Information security audit, fuel and energy complex. The article presents an analysis of the regulatory framework FSTEC, FSB, the Ministry of Energy, MES, a government decree, the federal laws and industry standards for the audit of the automated systems of the fuel and energy complex. Designed audit algorithm contains incremental recommendations that will provide a more objective assessment and qualitative analysis.

## **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" и ООО "Рашин Сайнс" 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**

**№5 2019**

**Направления:**

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ  
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

**[www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru)**

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 18.05.2019      Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

9,3 усл.печ.л. 10,9 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1990.

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»