

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№11 2020

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
2020**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №11 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 142 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

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

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

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

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.; 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

© Рашин Сайнс, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>Н.С. Алексеев, В.А. Осипова</i> МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПОЛНОЙ ПОРЯДКОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ИНФОРМАЦИИ О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ	7
<i>Г.А. Ахмедьянова</i> МНОГОУРОВНЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ВУЗА	13
<i>К.З. Биятдинов</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕЗЕРВОВ БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	16
<i>К.З. Биятдинов</i> КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	20
<i>А.В. Бродский, И.Б. Гинзбург, В.А. Столярчук</i> ЭВОЛЮЦИЯ СПОСОБОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ	24
<i>Д.С. Горбатенко</i> НЕТРЕЗВОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЯ КАК ПРИЧИНА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ	27
<i>А.В. Ишмаева, А.М. Пищухин</i> О СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ	30
<i>А.М. Пищухин</i> УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КАК АБСТРАКТНЫМ ОБЪЕКТОМ	34

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

<i>Ю.Ж. Дондоков, Д.А. Бетюнская, А.П. Алексеев</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗА ПУТЕМ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА	38
<i>Г.Е. Кокиева, Т.М. Пудова</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УБОЯ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ	41
<i>Н.А. Кошелева, Г.С. Сероваев, Г.Н. Гусев</i> ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВСТРОЕННЫХ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ БЕТОННЫЙ ОБРАЗЕЦ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ	44
<i>А.В. Милов, В.С. Тынченко, С.О. Курашкин, А.В. Мурыгин, В.Е. Петренко</i> ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВВОДА-ВЫВОДА ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ	48
<i>Т.А. Чуваткина, А.В. Агапов, Д.В. Камчатков, Е.Ю. Королев</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ	51
<i>С.А. Ягловский, С.В. Степанова, Д.Н. Юмианов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА	55

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

<i>И.К. Алайцев, Т.В. Данилова, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев</i> СОЗДАНИЕ АНАТОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА СПИНЫ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАММЫ ДЛЯ ЭПИДУРАЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА	59
---	----

Т.И. Каримов, А.И. Каримов, В.Ю. Островский, А.Г. Давидчук ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	63
--	----

05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

А.А. Голубничий, В.А. Мясоедова АНАЛИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ SDK ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ	72
---	----

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

А.К. Байбулов, Н.В. Иваницкая ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОГО ПЛОСКОГО ДНИЩА С РАДИАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ	76
А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Д.И. Нуретдинов, Ш.С. Хуснетдинов МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ ИНЕРЦИОННОГО СИНХРОНИЗАТОРА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ	80
Д.А. Галдин, В.О. Каледин ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИНАХ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	83
В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОДНОФАЗНОЙ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ	87
В.О. Каледин, Д.А. Галдин, А.Д. Ульянов РАЗРАБОТКА ИНФРАСТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ПОДДЕРЖКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОБЪЕКТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ	91
А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ РУК В ПРИЛОЖЕНИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ	95
Т.О. Корепанова, Е.А. Николаева МЕТОДИКА ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА–КОЛЬСКОГО	99
Д.В. Ложкин, П.В. Максимов АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В РОССИИ НА ОСНОВЕ ОБЗОРА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ	102
Д.В. Ложкин, П.В. Максимов ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КРОНШТЕЙНА В ANSYS	107
Е.Н. Мотрюк, О.Н. Бурмистрова ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	111
И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, А.И. Энская АЛГОРИТМ УТОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОЧНОСТИ ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	115
С.А. Федосин, Н.П. Плотникова, Е.А. Немчинова, А.В. Денискин ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИРОВАННОГО АЛГОРИТМА WORD2VEC В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ	120
М.А. Шурыгина, А.В. Хорьков, Ш.И. Галиев ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАСПОЛОЖЕНИЯ КАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА – ЧАСТЬ I	127

АННОТАЦИИ	132
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>N.S. Alekseyev, V.A. Osipova</i> METHODOLOGY FOR BUILDING A FULL ORDER CLASSIFICATION WITH INFORMATION ABOUT COMPARATIVE IMPORTANCE OF CRITERIA	7
<i>G.A. Akhmedyanova</i> MULTI-LEVEL MANAGEMENT OF THE COMPETENCE DEVELOPMENT OF THE STUDENT UNIVERSITY	13
<i>K.Z. Biliatdinov</i> IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF INFORMATION RESERVES OF BIG TECHICAL SYSTEMS IN THE OPERATIONAL PROCESS	16
<i>K.Z. Biliatdinov</i> COMPLEX METHOD OF QUALITY ASSESSMENT OF BIG TECHICAL SYSTEMS	20
<i>A.V. Brodsky, I.B. Ginzburg, V.A. Stolyarchuk</i> DISTANCE LEARNING METHODS' EVOLUTION	24
<i>D.S. Gorbatenko</i> SLUDDEN CONDITION OF THE DRIVER AS A CAUSE OF ROAD TRANSPORTATION ACCIDENT	27
<i>A.V. Ishmaeva, A.M. Pishchukhin</i> ABOUT SYSTEMATIZATION OF THE CADASTRE ASSESSMENT PROCEDURE	30
<i>A.M. Pishchukhin</i> ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT AS AN ABSTRACT OBJECT	34

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

<i>Yu.Zh. Dondokov, D.A. Betyunskaya, A.P. Alekseev</i> TECHNOLOGICAL BASIS OF MANURE PROCESSING BY MICROBIC SYNTHESIS	38
<i>G.E. Kokieva, T.M. Pudova</i> TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR SLAUGHTER AND DEEP PROCESSING OF AGRICULTURAL ANIMALS	41
<i>N.A. Kosheleva, G.S. Serovaev, G.N. Gusev</i> OPERABILITY VERIFICATION OF THE FIBER OPTIC-STRAIN SENSORS EMBEDDED INTO A CYLINDRICAL CONCRETE SAMPLE UNDER COMPRESSING LOAD	44
<i>A.V. Milov, V.S. Tynchenko, S.O. Kurashkin, A.V. Murygin, V.E. Petrenko</i> EXPERT ANALYSIS OF THE MARKET OF MODELING SYSTEMS FOR VERIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS OF INPUT-OUTPUT OF AN ELECTRON BEAM DURING WELDING	48
<i>T.A. Chuvatkina, A.V. Agapov, D.V. Kamchatov, E.Y. Korolev</i> AUTOMATION OF CHRYSOTYLCEMENT SUSPENSION PREPARATION PROCESS	51
<i>S.A. Yaglovsky, S.V. Stepanova, D.N. Yumshanov</i> NEW TECHNOLOGIES FOR PRODUCING PROTEIN CONCENTRATE	55

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

<i>I.K. Alaytsev, T.V. Danilova, A.O. Manturov, G.O. Mareev</i> CREAION OF ANATOMICAL MODEL OF BACK AREA BASED ON HIGH-RESOLUTION COMPUTED TOMOGRAPHY DATA	59
<i>T.I. Karimov, A.I. Karimov, V.Y. Ostrovskii, A.G. Davidchuk</i> DISCRETE-EVENT SIMULATION AND OPTIMIZATION OF INTEGRATED CAD SYSTEMS RESPECTING ORGANIZATION STRUCTURE	63

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

<i>A.A. Golubnichiy, V.A. Myasoedova</i> ANALYSIS OF GEOINFORMATION SDK FOR DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATION	72
---	----

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

<i>A.K. Baibulov, N.V. Ivanitskaya</i> OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A ROUND FLAT HEAD WITH THE RADIAL ARRANGEMENT OF THE RIBS	76
<i>A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, D.I. Nuretdinov, Sh.S. Husnetdinov</i> MATHEMATICAL MODEL OF THE LOAD OF THE INERTIAL SYNCHRONIZER OF THE GEARBOX	80
<i>D.A. Galdin, V.O. Kaledin</i> NONDESTRUCTIVE TESTING OF COMPOSITE PLATES USING THERMOGRAPHY AND THERMAL FILDS MODELLING	83
<i>V.A. Ivanov, I.A. Mutygullina</i> THE MODEL OF HEAT TRANSFER IN THE DIESEL ENGINE COOLING SYSTEM UNDER CONDITIONS OF SINGLE-PHASE FORCED CONVECTION	87
<i>V.O. Kaledin, A.D. Ulyanov, D.A. Galdin</i> INFRASTRUCTURE OF MULTITHREADING PROGRAM COMPLEX IN CONTEXT OF FUNCTION-OBJECT-BASED PROGRAMMING	91
<i>A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin, S.V. Rovnov, A.V. Ivaschenko</i> HAND MOTOR SKILLS SIMULATION IN VIRTUAL REALITY APPLICATIONS FOR NEURO REHABILITATION	95
<i>T.O. Korepanova, E.A. Nikolaeva</i> DYNAMIC LOADING TECHNIQUE ON A SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR	99
<i>D.V. Lozhkin, P.V. Maksimov</i> ANALYSIS OF APPLICATION AND DEVELOPMENT OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION ALGORITHMS IN RUSSIA BASED ON A REVIEW OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS	102
<i>D.V. Lozhkin, P.V. Maksimov</i> TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF BRACKET IN ANSYS	107
<i>E.N. Motryuk, O.N. Burmistrova</i> ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL MODELS BY FUZZY MODELING METHODS	111
<i>I.N. Sidorov, A.V. Gorelov, A.I. Enskaya</i> ALGORITHM FOR REFINING THE SURFACE OF STRENGTH OF DISPERSEDLY REINFORCED POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS	115
<i>S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova, E.A. Nemchinova, A.V. Deniskin</i> APPLICATION OF WORD2VEC ALGORITHM ADAPTION FOR REFERENCE INFORMATION CLASSIFICATION AND CLUSTERING	120
<i>M.A. Shurygina, A.V. Khorkov, Sh.I. Galiev</i> DETERMINATION OF NUMBER AND LOCATION OF FIRE DETECTION CAMERAS FOR THE PART OF TATARSTAN TERRITORY – PART I	127

ABSTRACTS	132
------------------	-----

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

05.13.01

Н. С. Алексеев канд. физ.-мат. наук, В.А. Осипова канд. физ.-мат. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра «Математическая кибернетика»,
nickolay_alekseev@hotmail.com, victoria.a.osipova@gmail.com

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПОЛНОЙ ПОРЯДКОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ
ПРИ НАЛИЧИИ ИНФОРМАЦИИ О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ**

В статье предложена усовершенствованная методика построения полной порядковой классификации для случая, когда варианты сравниваются по критериям с вербальными шкалами и характеристика классов решений также является вербальной. Методика представляет собой развитие известного алгоритма ЦИКЛ использующее информацию о сравнительной важности критериев.

Ключевые слова: *порядковая классификация, вербальная оценка, качественные критерии, сравнительная важность критериев, векторная оценка варианта.*

Введение

Одной из задач, с которыми человек или лицо, принимающее решение (ЛПР), часто сталкивается при принятии решений является задача классификации. В таких задачах достаточно распределить варианты между небольшим числом классов решений, не требуется ранжировать их или выделить наилучшие. Одной из причин, по которой возникают проблемы при принятии таких решений является многокритериальность вариантов. Наиболее интересны с практической точки зрения задачи порядковой (или ординальной) классификации, в которых классы решений упорядочены по предпочтительности. Например, варианты, помещенные в класс I, более предпочтительны для ЛПР, чем варианты, помещенные в класс II, последние, в свою очередь предпочтительнее, чем варианты, из класса III и так далее.

В статье рассмотрен один из возможных подходов к построению полной порядковой классификации [1] и описана методика отнесения вариантов решений к соответствующему порядковому классу.

Задача полной порядковой классификации предполагает классификацию всех возможных вариантов. Таким образом, требуется построить функцию, отображающую элементы критериального пространства во множество номеров классов. Этот процесс должен осуществляться в диалоге с компьютерным приложением. Рассматривается случай, когда критерии носят качественный характер, а оценки по критериям являются вербальными, т.е. сформулированы словесным образом на языке, понятном ЛПР. Наименования и сравнение классов также имеет качественный и вербальный характер. Несмотря на такой дружественный подход, задача полной порядковой классификации является сложной для ЛПР в силу большого количества векторных оценок, подлежащих отнесению к одному из классов. Если рассматривается задача с n критериями $K_1, \dots, K_n$, имеющими шкалы с $N_1, \dots, N_n$ градациями соответственно, то количество всех вопросов вида «К какому классу Вы отнесете вариант с векторной оценкой такой-то?», адресованных ЛПР в процедуре прямого опроса, равняется $N_1 \cdot \dots \cdot N_n$.

Количество обращений к ЛПР может быть значительно сокращено, если учесть, что векторные оценки вариантов связаны отношением предпочтения Парето, а классы упорядочены по важности. В [1,2] описаны методы ОРКЛАСС и ЦИКЛ, позволяющие значительно сократить число обращений к ЛПР при диалоге.

В настоящей статье рассматривается подход, позволяющий дополнительно сократить количество обращений к ЛПР. Предлагается предварительно провести анализ сравнительной важности критериев с помощью методов, описанных, например, в работах [3, 4, 5, 6]. Такой подход, использующий дополнительную информацию о структуре предпочтений ЛПР, позволяет получить обоснованное решение и представляется вполне естественным, поскольку указанные методы ориентированы на использование информации качественного характера и поддерживает вербальные оценки по критериям. Затем, используя процедуры, близкие по смыслу к процедурам, предложенным в методе ЦИКЛ, позволяющие построить полную порядковую классификацию вариантов. При этом достигается значительное сокращение числа обращений к ЛПР в диалоге.

1. Структура предпочтений ЛПР, используемая для решения задачи порядковой классификации

Математическая постановка задачи порядковой (ординальной) классификации в многокритериальных ситуациях состоит в следующем.

Пусть:

1) $K = \{K_1, \dots, K_n\}$ – множество критериев, описывающих характеристики классифицируемых вариантов.

2) $X^{(i)} = \{1, \dots, N_i\}$ – шкала критерия K_i , являющаяся результатом преобразования словесной формулировки оценки по данному критерию к балльной оценке. Значение « N_i » соответствует наилучшей оценке по данному критерию, значение «1» – наихудшей. Предварительно приведем шкалы критериев к однородным, то есть рассматриваем случай однородных шкал ($N_1 = \dots = N_n = N$).

3) X – множество векторных оценок всех возможных классифицируемых объектов $X = X^{(1)} \times \dots \times X^{(n)} = \{1, \dots, N\}^n$. Выделяется подмножество $X^a \subseteq X$ векторных оценок допустимых объектов,

4) $C_1, \dots, C_M$ – упорядоченные классы решений. Класс с номером « M » отражает наилучшие предпочтения ЛПР, класс «1» – наихудшие.

Требуется на основании предпочтений ЛПР построить отображение $F: X \rightarrow \{1, 2, \dots, M\}$, то есть отнести каждую векторную оценку из X (а значит и соответствующий вариант) к одному из классов решений $C_1, \dots, C_M$.

Чтобы классифицировать все объекты ЛПР должно ответить на N^n вопросов о принадлежности того или иного объекта к тому или иному классу. Из списка вопросов можно исключить только вопрос о варианте с оценкой $x' = (N, \dots, N)$, который следует отнести к наивысшему классу C_M , и вопрос о варианте с векторной оценкой $x'' = (1, \dots, 1)$, который следует отнести к классу C_1 : $F(x') = M; F(x'') = 1$.

В методе ЦИКЛ количество обращений к ЛПР сокращается за счет того, что при каждом обращении ЛПР предъявляется для классификации векторная оценка, обладающая наибольшей «информативностью», т.е. такая оценка, после классификации которой «автоматически» классифицируется наибольшее количество других векторных оценок. «Автоматическая» классификация основана на очевидных соображениях, использующих свойства отношения Парето P^0 .

– если векторная оценка x отнесена к классу с номером $I \in \{1, 2, \dots, M\}$, то векторная оценка y , такая, что yP^0x , не может быть отнесена к классу с номером

$$J \in \{1, \dots, I - 1\}; \quad (1)$$

– если векторная оценка x отнесена к классу с номером $I \in \{1, 2, \dots, M\}$, то векторная оценка y , такая, что xP^0y , не может быть отнесена к классу с номером

$$J \in \{I + 1, \dots, M\}. \quad (2)$$

Эти условия называют условиями непротиворечивости классификации [1,2].

Если структура предпочтений ЛПР дополнена информацией о сравнительной важности критериев $K = \{K_1, \dots, K_n\}$, то условия непротиворечивости классификации могут быть усилены.

ЛПР, как правило, имеет определенные представления о сравнительной важности критериев $K_1, \dots, K_n$. Эта информация Ω составляется из сообщений о равноценности и превосходстве в важности критериев. Точный смысл этих понятий дается в [3] следующими определениями, в которых через $\tilde{x}^{r,t}$ обозначена векторная оценка, полученная из x перестановкой компонент x_r и x_t .

– критерии K_r и K_t равноважны (это – сообщение $K_r \sim K_t$ или же $K_t \sim K_r$ означает, что всякие две векторные оценки x и $\tilde{x}^{r,t}$ одинаковы по предпочтительности;

– критерий K_r важнее, чем K_t (это – сообщение $K_r \succ K_t$) означает, что векторная оценка x , у которой, $x > \tilde{x}^{r,t}$ предпочтительнее, чем $y = \tilde{x}^{r,t}$.

Таким образом, сообщение ω_1 о равноценности критериев K_r и K_t задает на n -мерном числовом пространстве R^n симметричное отношение безразличия $I^{\omega_1} : xI^{\omega_1}y \Leftrightarrow y = \tilde{x}^{r,t}$, а сообщение ω_2 о превосходстве в важности K_r над K_t – асимметричное отношение предпочтения $P^{\omega_2} : xP^{\omega_2}y \Leftrightarrow y = \tilde{x}^{r,t}, x > \tilde{x}^{r,t}$.

Набор Ω информационных сообщений типа ω_1, ω_2 о сравнительной важности критериев порождает отношение нестрогого предпочтения R^Ω , определяемое как транзитивное замыкание объединения отношений I^ω и P^ω для всех $\omega \in \Omega$ и отношения Парето R^0 :

$$R^\Omega = Tr[\bigcup_{\omega \in \Omega} R^\omega \cup R^0]$$

(здесь символом Tr обозначена операция транзитивного замыкания бинарного отношения, $R^\omega = P^\omega \cup I^\omega$, $P^{\omega_1} = I^{\omega_2} = \emptyset$). Согласно этому определению, $xR^\Omega y$ выполняется тогда и только тогда, когда существуют гипотетические варианты с векторными оценками $z^{(i)}$, $i=1, \dots, k$ такие, что

$$x = z^{(0)} R^{(1)} z^{(1)} \dots z^{(k-1)} R^{(k)} z^{(k)} R^{(k+1)} y, \quad (3)$$

где каждое $R^{(j)}$ есть $R^{\omega^{(ij)}}$ для некоторого $\omega^{(ij)} \in \Omega$ или R^0 , причем $xI^\Omega y (xP^\Omega y)$ тогда и только тогда, когда все $R^{(j)}$ суть $I^{\omega^{(ij)}}$ или I^0 (хотя бы одно $R^{(j)}$ есть $P^{\omega^{(ij)}}$ или P^0). Цепочку вида (3) называют опорной цепочкой от x к y , а число k – ее длиной.

Алгоритмы построения отношения R^Ω приведены, например, в работах [4, 5]. Поскольку отношение R^Ω отражает структуру предпочтений ЛПР, условия непротиворечивости классификации можно усилить следующим образом:

– если векторная оценка x отнесена к классу с номером $I \in \{1, 2, \dots, M\}$, то векторная оценка y , такая, что $y P^\Omega x$, не может быть отнесена к классу с номером

$$J \in \{1, \dots, I - 1\}; \quad (4)$$

– если векторная оценка x отнесена к классу с номером $I \in \{1, 2, \dots, M\}$, то векторная оценка y , такая, что $x P^\Omega y$, не может быть отнесена к классу с номером

$$J \in \{I + 1, \dots, M\}. \quad (5)$$

Использование усиленных условий непротиворечивости классификации позволяет дополнительно снизить количество обращений к ЛПР.

2. Процедура порядковой классификации

Опишем процедуру порядковой классификации в случае, когда ЛПР обладает информацией о сравнительной важности критериев $K = \{K_1, \dots, K_n\}$. Эта информация позволяет сравнивать по предпочтительности классифицируемые объекты с векторными оценками из X не только по отношению Парето R^0 , но и по отношению R^Ω , полученному на основе информации о сравнительной важности критериев.

В работе [2] показано, что если известны классы для векторных оценок x и y , $F(x) = I$, $F(y) = J$ и выполняется условие $x P^0 y$, то можно построить цепочку векторных оценок $z^{(i)}$, $i=1, \dots, k$ таких, что

$$x = z^{(0)} P^0 z^{(1)} \dots z^{(k-1)} P^0 z^{(k)} P^0 y, \quad (6)$$

и соседние векторы $z^{(i)}$ и $z^{(i+1)}$ отличаются оценкой по единственному критерию, она в первом из них на единицу больше, чем во втором. Тогда для классификации векторов $z^{(i)}$, $i=1, \dots, k$ вопрос к ЛПР относительно принадлежности к тому или иному классу «среднего» вектора этой цепочки вектора $z^{([k/2])}$ является наиболее эффективным. Действительно, пусть ЛПР отнесло этот вариант к классу C_k : $F(z^{([k/2])}) = K$, $J \leq K \leq I$. В соответствии с правилами (1) и (2) понятно, что «левая» («правая») половина цепочки не может быть отнесена к классу с номером, большим K (меньшим K):

$$F(z^{(i)}) \notin \{K + 1, \dots, J\}, i = 1, \dots, [k/2] - 1;$$

$$F(z^{(i)}) \notin \{I, \dots, K - 1\}, i = [k/2] + 1, \dots, k.$$

На множестве векторных оценок X рассмотрим следующую метрику:

$$\rho(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|.$$

Для векторных оценок $x, y \in X$ таких, что $x P^\Omega y$ обозначим через $\Lambda(x, y)$ множество таких векторных оценок, которые одновременно доминируют над вектором y и над которыми доминирует вектор x по отношению P^Ω :

$$\Lambda(x, y) = \{v \in X \mid x P^\Omega v, v P^\Omega y\}. \quad (7)$$

Заметим, что множество $\Lambda(x', x'')$, где $x' = (N, \dots, N)$, $x'' = (1, \dots, 1)$, совпадает с множеством X . Обозначим через $L(x, y)$ множество векторов $\Lambda(x, y)$, «равноудаленных» от x и y в смысле рассмотренной метрики:

$$L(x, y) = \{v \in \Lambda(x, y) \mid \sum_{i=1}^n v_i = [(\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i) / 2]\}. \quad (8)$$

Определим на множестве X числовые функции $T(x)$ и $B(x)$, значения которых равны соответственно максимальному и минимальному номерам классов, допустимых для векторной оценки x , т. е. номерам классов, при отнесении к которым не нарушаются усиленные условия (4) и (5) для векторной оценки x . Считаем, что векторная оценка x классифицирована и отнесена к классу C_k , если для нее выполняется условие: $B(x) = T(x) = k$.

Первоначально для каждой векторной оценки x , принадлежащей множеству $X^a \subseteq X$ векторных оценок допустимых объектов, полагается $B(x)=1$, $T(x)=M$. Для удобства будем считать, что для векторных оценок z , принадлежащих множеству $X^b = X \setminus X^a$ векторных оценок недопустимых объектов, выполняется условие $B(z) = T(z) = 0$.

Процедура $precise(x)$ уточнения классификации векторных оценок, связанных с векторной оценкой x отношением P^Ω заключается в следующем. Пусть векторная оценка x на некотором шаге процедуры отнесена к классу C_k , и, следовательно, $B(x) = T(x) = k$. Тогда для всех векторных оценок $y \in X^a$ таких, что $xP^\Omega y$ и $T(x) > k$, значение функции $T(y)$ на этом шаге изменяется и $T(y) = k$. Аналогично, для всех векторов $z \in X^a$ таких, что $zP^\Omega x$ и $B(x) < k$, значение функции $B(z)$ изменяется и $B(z) = k$.

Опишем механизм алгоритма полной классификации векторных оценок – рекурсивную процедуру классификации $fullClass(a, b)$ на множестве $\Lambda(a, b)$, аналогичную предложенной в [2]. Предполагается, что $aP^\Omega b$, $B(a) = T(a) = k$, $B(b) = T(b) = l$. Выполняются следующие действия:

1) Для всех векторных оценок $x \in L(a, b)$ поочередно выполняются шаги 2, 3, 4.

2) Если класс принадлежности векторной оценки x неизвестен (то есть $B(x) < T(x)$), то векторная оценка x предъявляется ЛПР для классификации. Пусть ЛПР относит векторную оценку x к классу C_r . Применяется процедура уточнения классификации $precise(x)$. Проверяются условия непротиворечивости (4) и (5). Если они нарушены, то выполняется процедура устранения противоречий.

3) Если $(r = 0$ или $r > k)$ и $aP^\Omega x$, то выполнить $fullClass(a, x)$.

4) Если $(r = 0$ или $r < l)$ и $xP^\Omega b$, то выполнить $fullClass(x, b)$.

Если для векторных оценок $x, y \in X$, нарушаются условия непротиворечивости (4) и (5), то такая пара предъявляется эксперту с предложением изменить класс принадлежности одной или обеих векторных оценок и, тем самым, устранить противоречие. После чего значения функций T и B возвращаются к начальному состоянию, и проводится процедура уточнения классификации $precise(v)$ для каждой векторной оценки v , которую эксперт уже отнес к некоторому классу.

Параметры алгоритма, в том числе и количество обращений к эксперту, вообще говоря, зависят от способа выбора векторной оценки x на шаге 1.

На самом верхнем уровне алгоритм выглядит следующим образом.

1. Для всех векторов $x \in X^a$ устанавливается $B(x) = 1$ и $T(x) = M$, для всех векторов $x \in X^b$ устанавливается $B(x) = T(x) = 0$.
2. Для векторной оценки x' устанавливается $B(x) = M$. Для векторной оценки x'' устанавливается $T(x) = 1$.
3. Выполняется рекурсивная процедура классификации $fullClass(x', x'')$.

Заключение

Описанный процесс порядковой классификации для многокритериальных задач с качественными критериями может быть использован для различных прикладных задач принятия решений. Особенно следует отметить, что этот процесс применим в случае, когда оценки по критериям являются вербальными, т.е. сформулированы словесным образом на языке, понятном ЛПР. Информация о сравнительной важности критериев, описанная в работе в рамках аксиоматического подхода, может быть получена и эмпирически, в результате опыта и работы эксперта.

Представляется интересным рассматривать совокупность классов, полученную в процессе порядковой классификации для такого рода задач, как шкалу некоторого обобщенного критерия. Таким образом, сам процесс порядковой классификации представляется как согласованная с мнением ЛПР «свертка» качественных критериев в обобщенный критерий. Такой подход позволяет использовать этот процесс для обоснованного снижения размерности задач и, следовательно, для получения более качественного решения.

Список литературы

1. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. - М.: Физматлит, 1996. - 208 с.
2. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений. - Ин-т системного анализа РАН. - М.: Наука, 2006. - 181 с.
3. Подиновский В.В. Об относительной важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений //Принятие решений при многих критериях /Под ред. С.В. Емельянова. - М.: Машиностроение, 1978, с. 48-92.
4. Подиновский В.В. Коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений. Порядковые или ординальные коэффициенты важности критериев. // Автоматика и телемеханика, 1978, №10, с. 130-141.
5. Алексеев Н.С. Алгоритмы многокритериального сравнения вариантов решения при ранжированных по важности критериях// ЖВМ и МФ, 1996, №9, с. 60-70.
6. Осипова В.А., Алексеев Н.С. Математические методы поддержки принятия решений. Учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, 2019, 134 с.

05.13.01

Г.А. Ахмедьянова канд. педагог. наук

Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, ahmedyanova@bk.ru

МНОГОУРОВНЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ВУЗА

В работе исследуется иерархия управления развитием главного результата образовательного процесса –компетентностью выпускника. Предлагается вводить пять уровней. Первый составляет педагогическая система включающая обучающегося с преподавателем, а также методические, теоретические и практические материалы. Второй уровень иерархии отвечает за организацию образовательного процесса. На третьем уровне контролируется развитие компетенций, предусматриваемых образовательным стандартом. Четвертый уровень отвечает за готовность к профессиональной деятельности. Такое многоуровневое управление вносит большее понимание в оценку результатов управления развитием компетентности в каждый момент времени и раскладывает необходимые воздействия на независимые составляющие, что позволяет оценивать их вклад в достижение цели верхнего уровня и соответственно кумулятивно выделять управляющие ресурсы.

Ключевые слова: компетентность, компетенции, готовность к профессиональной деятельности, иерархичность, многоуровневая оценка, организационные воздействия.

Многие исследователи считают, что повышение качества образования в вузе является целью управления. Однако реальным выражением этого качества является уровень компетентности его выпускников [1]. С другой стороны, и качество образования, и компетентность выпускника являются абстрактными объектами управления, на которые невозможно оказать реальное воздействие, так же как измерить их текущий уровень, поэтому управление такими объектами возможно только косвенное, организационными воздействиями на реальные носители этих понятий, то есть на обучающихся [2]. Такая логика приводит к многоуровневой системе управления, на верхнем уровне которой находится развитие компетентности обучающегося, а на первом уровне сам обучающийся. Проведем системно-аналитическое исследование иерархического управления.

На самом низком уровне целью управления является обеспечение организационных условий для глубокого усвоения материала обучающимся. Одновременно это является эмерджентным свойством педагогической системы, образованной: обучающимся, преподавателем, методическим обеспечением, теоретическим материалом и практическими работами (рисунок 1). Взаимодействие этих составляющих организуется через второй уровень - образовательный процесс, который выделяет временные, аудиторные и кадровые ресурсы. На рисунке изображены каскадные воздействия верхних уровней на нижние и также покаскадно идет сбор управленческой информации снизу вверх.

Третий уровень задает необходимые приоритеты в последовательности модулей второго уровня за счет необходимости выдерживания последовательности развития компетенций, задаваемых образовательным стандартом. Именно этот уровень обеспечивает академическую мобильность обучающихся [3].

С развитием компетенций одновременно возрастает уровень готовности обучающегося к профессиональной деятельности, который контролируется на четвертом иерархическом уровне. Задача управления готовностью уже рассматривалась авторами [4]. В данном случае готовность должна проверяться на производственной практике, по уровню исполнения

профессиональных функций. При этом необходимо разработать специальные тестовые процедуры, которые адресно обеспечат все аспекты будущей профессиональной деятельности.

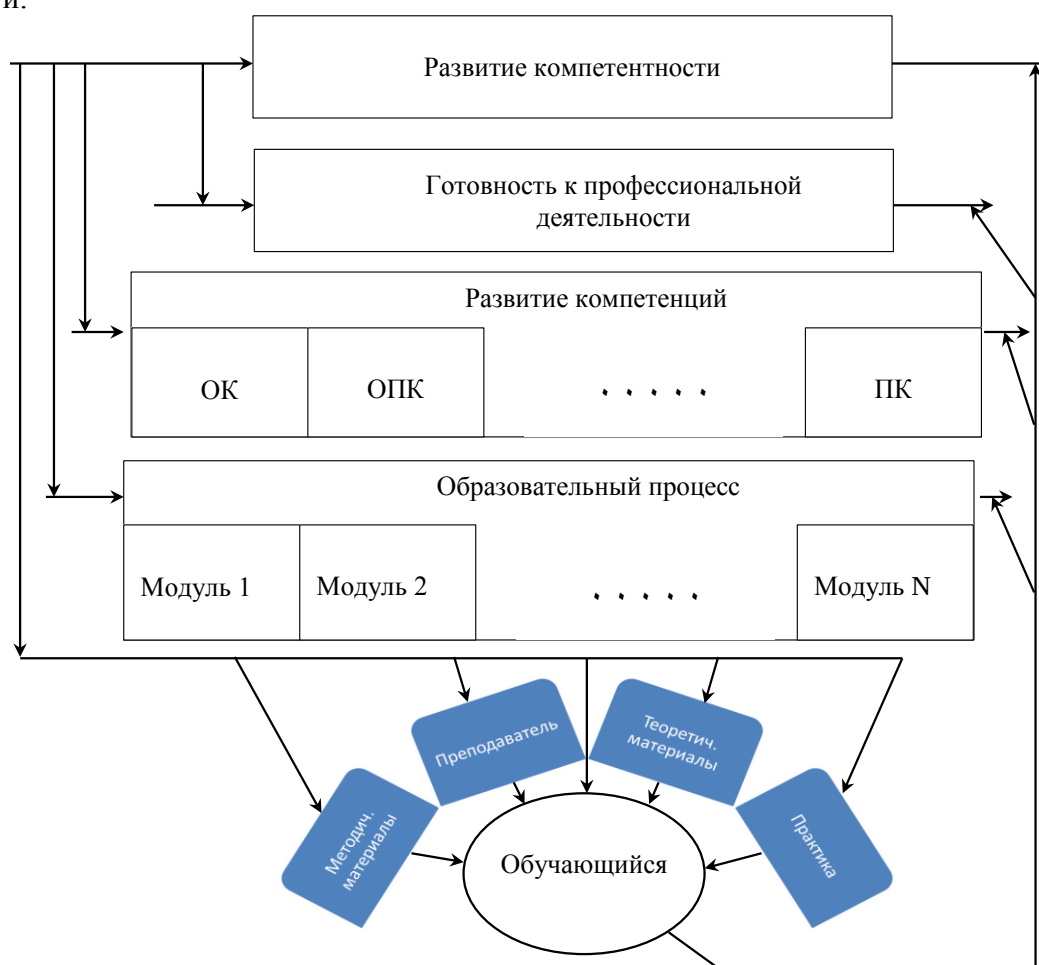


Рис. 1 – Иерархическая схема управления развитием компетентности обучающегося

При такой структуре разделяются управленческие функции, и управление специализируется на каждом уровне в соответствии с поставленной целью. На первом уровне главным становится обучение, на втором распределение нагрузки преподавателей, своевременное обеспечение необходимыми аудиториями, организация рубежного контроля и так далее. На третьем уровне делается все необходимое для развития каждой из компетенций, а так же согласование в их развитии. Четвертый уровень призван специально следить за готовностью к профессиональной деятельности.

Наконец, верхний уровень должен контролировать интегральное развитие компетентности.

С другой стороны, иерархия требует, чтобы верхние уровни управления задавали критерии достижения целей на всех нижележащих уровнях. Так недостаточный уровень компетентности вынуждает все нижележащие уровни скорректировать этот аспект. Уровень готовности к профессиональной деятельности должен определить - в каких направлениях необходимо повышать готовность, а в каких он уже достаточен и тогда перенаправить управляющие ресурсы в соответствии с полученным результатом.

Точно так же необходимо поступать с компетенциями. Выявлять отставание в развитии каких-либо компетенций и ставить более низким уровням задачу коррекции образовательного процесса, либо задачу возврата к пройденному материалу в каком-либо виде.

Наконец, на нижнем уровне, все воздействия будут непосредственно обращены на обучающегося, и, конечно, здесь должен превалировать личностно-ориентированный подход и в отношении нацеленности методического обеспечения и в отношении адаптированности теоретического и практического материала.

При этом верхним уровням управления не надо дублировать управляющие функции нижних уровней. Они должны устанавливать основные параметры нижележащих процессов, то есть оказывать параметрические воздействия. Производить структурные изменения, если они нужны, и организационными воздействиями обеспечивать наилучшие условия для достижения целей верхних уровней. Это факт отражается следующей формулой

$$\bar{U} = \{Par, Str, Org\} \quad (1)$$

Аналогичная иерархия представляется и при оценке результатов каждого уровня. На самом верхнем уровне результат определяется по обучающемуся с учетом проверки показываемых им результатов, с учетом его готовности, развитости компетенций, цельности прохождения образовательного процесса, то есть в интегральную оценку включаются результаты со всех уровней.

Готовность оценивается на один уровень ниже и так же интегрально. При этом целенаправленно оценивается знание обучающимся будущей профессии, а также уровень демонстрируемых им умений и навыков в рамках будущей профессиональной деятельности.

С компетенциями гораздо проще, поскольку они регламентируются образовательным стандартом и для оценки их уровня разрабатывается специальный пакет оценивающих средств.

Образовательный процесс контролируется лучше других уровней, поскольку оценка превалирует детерминированная.

Важное значение имеет оценка самого нижнего уровня, со стороны преподавателей. Здесь, конечно, возможен значительный субъективизм, поэтому как нигде важна суммарная оценка многими преподавателями в рамках многих дисциплин, изучаемых в текущий период обучения. На формальном языке для уровня компетентности можно применять аддитивную оценку

$$U_{p_k} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_i \quad (2)$$

где α_i – весовые коэффициенты, P_i – оцениваемые параметры ($i = 1, \dots, n$). Либо, в случае необходимости обнуления результата при отсутствии какого-либо качества обучающегося мультипликативную

$$U_{p_k} = \prod_{i=1}^n P_i^{\alpha_i} \quad (3)$$

Можно представить и некоторую комбинацию этих двух подходов, при условии большей конкретизации процедуры оценки.

Таким образом, по каждому уровню организуется обратная связь, показывающая достаточно ли оказанных управляющих воздействий на каждом иерархическом уровне.

В целом иерархичность вносит большее понимание и по интегральной оценке результатов управления развитием компетентности в каждый момент времени и раскладывает необходимые воздействия на независимые составляющие, что позволяет оценивать независимо их вклад в достижение цели верхнего уровня и соответственно кумулятивно выделять управляющие ресурсы.

Список литературы

1. Михелькевич, В.Н., Попов, Д.В. Разработка методики оценки эффективности компетентностно-модульной технологии формирования у студентов профессиональной экспериментально-исследовательской компетенции // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 8. С. 142-146.
2. Ахмедьянова, Г.Ф., Пищухин, А.М., Пищухина, Т.А. Исследование алгоритмов управления абстрактным объектом // Фундаментальные исследования. 2018. № 4. С. 34-38.
3. Куркина, Н.Р., Стародубцева, Л.В., Имяреков, С.М. Управление академической мобильностью обучающихся педагогического вуза в условиях трансформации образовательной среды // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 3. – С. 158-162.
4. Ахмедьянова, Г.Ф. Метасистемная задача управления готовностью технических средств к функционированию / Г.Ф. Ахмедьянова, Т.А. Пищухина, А.М. Пищухин // Научно-технический вестник Поволжья, 2018. - № 5. - С. 161-164.

05.13.01

К.З. Билятдинов канд. воен. наук

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
Санкт-Петербург, k01b@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕЗЕРВОВ БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассматривается способ формирования информационных резервов, основанный на разделении информации в системе на две части в зависимости от востребованности сведений и в дальнейшей регламентации доступа по схеме: «база данных основных сведений – архив – внешние источники информации». Применение способа обеспечивает сокращение времени обработки информации.

Ключевые слова: *архив, база данных, время, большая техническая система, информация, ресурсы, интеграционные резервы.*

В начале XXI века возросло значение совершенствования и развития информационных резервов больших технических систем (промышленных предприятий, объектов информатизации и связи, объектов транспортной инфраструктуры и др.) как основы повышения эффективности управления. В особенности это проявляется при моделировании и принятии управленческих решений по результатам оценки качества [1, с. 779], а также для осуществления прогнозов на основе статистической информации об эксплуатации больших технических систем (далее – БТС) за прошедшие периоды времени [2, с. 208].

В связи с вышеописанным разработаны способ формирования информационных резервов БТС (далее – Способ) и программа для ЭВМ «Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы», свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610335, дата государственной регистрации 13.01.2020 (далее – программа для ЭВМ).

Сущность способа заключается в том, что при сборе и обработке информации выполняются действия в соответствии со схемой на рисунке 1. При этом информационные резервы (далее – ИР) состоят из базы данных (далее – БД), основных сведений о системе и архива (рис. 2).

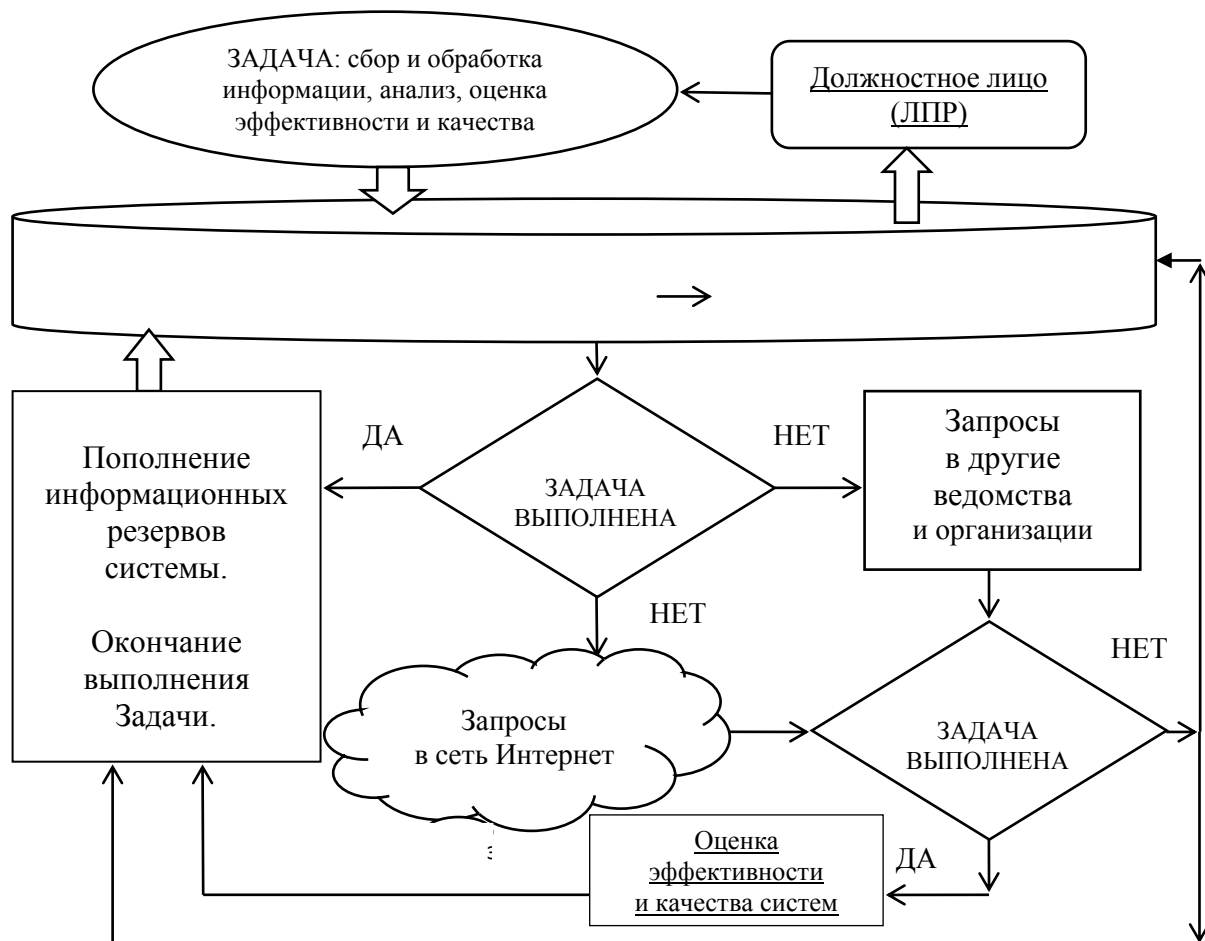


Рис. 1 – Схема реализации способа формирования информационных ресурсов большой технической системы.

В способе ИР формируются из следующих взаимосвязанных массивов данных:

- о технических системах, входящих в состав БТС (системы связи и АСУ, системы жизнеобеспечения, системы электропитания и т.д);
- об эксплуатации и ТО БТС;
- об устойчивости БТС в неблагоприятных условиях;
- нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, необходимых для обеспечения функционирования БТС;
- методического обеспечения, математического и программного обеспечения в составе методик анализа и оценки систем, рекомендаций, программ для ЭВМ, применяемых должностными лицами.

Содержание информационных резервов БТС:

1. БД основных сведений о системе (рис. 2). Содержит наиболее часто запрашиваемые сведения в виде текстовых документов, содержащих краткую информацию по интересующему вопросу. Виды документов: отчеты, доклады, выводы по результатам оценки качества, рейтинги систем, выписки, справки и др.

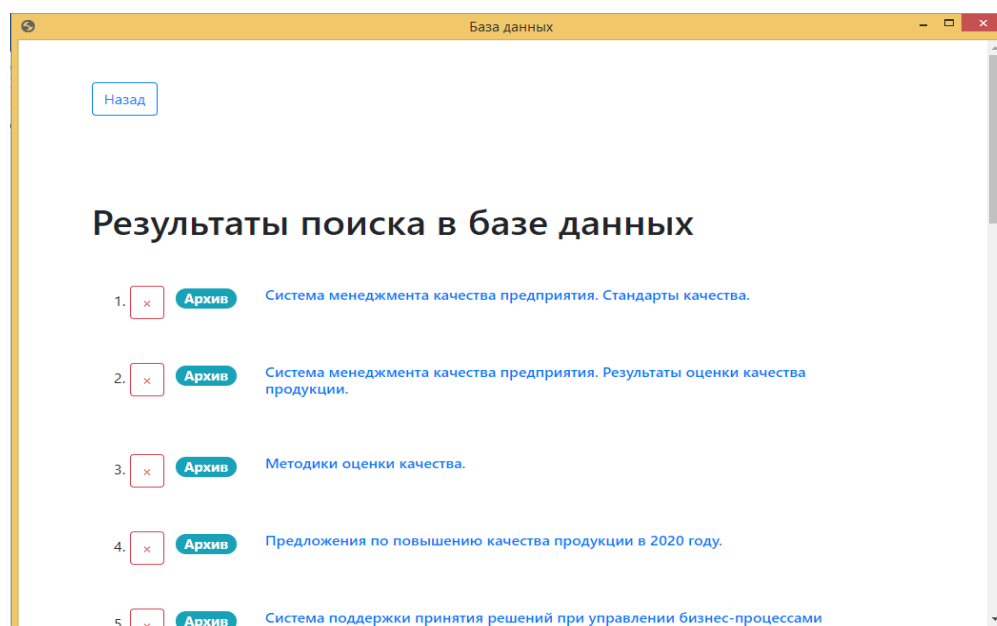


Рис. 2 – Скриншот экрана – пример интерфейса программы для ЭВМ с результатами поиска в БД основных сведений о системе

2. Архив. Содержит все имеющиеся сведения о системе в виде текстовых документов, шаблонов оформления служебных документов, таблиц, графиков, рисунков, фотографий, аудио и видео файлов, БД источников информации и др. Файлы в архиве содержат ссылки на источники получения информации, содержащейся в этих файлах, а также типовые формы БД (реестров) источников информации, содержащейся в архиве ИР (пример – таблица 1).

Таблица 1

Реестр внешних источников информации

(название предметной области, технической системы (изделия))

Название источника	Интернет	Другие источники	История обращений	Количество обращений	Оценка полезности	Правила доступа
...	...	...	...	...	...	...

Поддержание в актуальном состоянии БД основных сведений о системе создает предпосылки более эффективного использования инновационных возможностей производственных подсистем [3]. В свою очередь систематизированная информация в архиве обеспечивает реализацию рационального подхода к организации технического обеспечения, предупреждению и устранению неисправностей элементов в системе на этапе эксплуатации [4, с. 1618].

Способ и программа для ЭВМ, разработанные как одно из рациональных направлений совершенствования и развития ИР БТС, дополнительно позволяют выполнять следующие частные задачи:

- существенное снижение трудозатрат и времени выполнения рутинных операций сбора и обработки информации в процессе оценки качества;
- формирование (пополнение) ИР и поддержание их в актуальном состоянии;
- систематизация больших объемов информации в ИР БТС;
- существенное уменьшение времени поиска информации, количества обращений и времени доступа к информационным ресурсам сети Интернет;
- ведение БД (реестров) источников информации, включая экспертов, и их ранжирование

в зависимости от количества обращений и полезности (достоверности и актуальности) получаемой информации;

- снижение негативных последствий избыточности информации;
- противодействие вводу ложной информации;
- снижение количества информационных циклов управления (ИЦУ) и времени выполнения ИЦУ и, как следствие, существенное уменьшение времени подготовки и принятия управленческих решений.

Кроме того, разработанные Способ и программа для ЭВМ рационально использовать в качестве части интеграционных резервов повышения эффективности систем в процессе эксплуатации в соответствии со схемой на рисунке 3.



Рис. 3 – Совершенствование и развитие информационных ресурсов как интеграционного резерва повышения эффективности функционирования больших технических систем

Таким образом, Способ и программа для ЭВМ позволяют более рационально использовать возможности системы для дальнейшего усиления положительного эффекта в сфере совершенствования и развития информационных резервов с целью повышения и (или) обеспечения эффективности функционирования больших технических систем.

Список литературы

1. Filz M., Herrmann C., Thiede S. Simulation-based Assessment of Quality Inspection Strategies on Manufacturing Systems // Procedia CIRP. 2020. Vol. 93. – P. 777-782.
2. Hund L., Schroeder B., Rumsey K., Huerta G. Distinguishing between model- and data-driven inferences for high reliability statistical predictions // Reliability Engineering and System Safety. 2018. Vol. 180. - P. 201-210.
3. Lumpkin D.R., Horton W.T., Sinfield J.V. Holistic synergy analysis for building subsystem performance and innovation opportunities // Building and Environment. 2020. Vol. 178. Article 106908.
4. Wang T., Qiao M., Zhang M. Data-driven prognostic method based on self-supervised learning approaches for fault detection // Journal of intelligent manufacturing. 2020. № 31(7). - P. 1611-1619.

05.13.01

К.З. Билятдинов канд. воен. наук

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
Санкт-Петербург, k01b@mail.ru

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Представлена методика оценки качества, основанная на комплексном использовании статистической и экспертной информации посредством применения взаимосвязанных расчетных таблиц, усовершенствованного метода парных сравнений, проверки данных на непротиворечивость и идентификации источников получения информации.

Ключевые слова: методика, оценка, техническая система, качество, усовершенствованный метод парных сравнений, управление.

В современных условиях эффективность управления техническими системами (далее – системами) во многом зависит от своевременных управленческих решений, принимаемых на основе оценки качества систем. Совершенствование интерактивных процедур оценки качества [1, с. 37-38] обосновывает возможность успешной практической реализации комплексной методики оценки качества технических систем (далее – Методика) в режиме реального времени с использованием статистической и экспертной информации, получаемой из внутренних и внешних источников. С течением времени накопленные результаты оценки качества, систематизированные в информационных ресурсах системы, обеспечат объективный анализ влияния качества технических изделий на достижении цели эксплуатации [2, 3].

Основная последовательность действий при выполнении методики состоит в двух вариантах в зависимости от вида используемой при оценке информации: на основе статистических данных или статистической и экспертной информации. Сущность Методики заключается в поэтапном применении взаимосвязанных по заданным ячейкам расчетных таблиц для оценки качества с использованием статистической и экспертной информации с возможностью идентификации источников информации.

В таблице 1 предусмотрено выполнение расчетов разности значений выбранных показателей качества ($\Delta P_z(z-1)$) при их парном сравнении, формула (1):

$$\Delta P_z(z-1) = \Delta P_z - \Delta P_z(z-1) \quad (1),$$

где z – это номер одной из сравниваемых систем, принадлежащий диапазону целых чисел от 1 до n .

Таблица 1

Статистическая информация для оценки качества n систем
по выбранному показателю оценки качества (P_n)

(название показателя, единица измерения показателя)

Системы	P_n	Системы					Источники информации о системах		Дата
		1	2	...z,...	$n-1$	n			
		P_1	P_2	...	P_{n-1}	P_n	Внут- ренние	Внеш- ние	
1	2	3	4	...	$n+1$	$n+2$	$n+3$	$n+4$	$n+5$
1	P_1	0	ΔP_{12}	...	$\Delta P_{1(n-1)}$	ΔP_{1n}			
2	P_2	ΔP_{21}	0	...	$\Delta P_{2(n-1)}$	ΔP_{2n}			
...z,...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n-1$	P_{n-1}	$\Delta P_{(n-1)1}$	$\Delta P_{(n-1)2}$	...	0	$\Delta P_{(n-1)n}$			
n	P_n	ΔP_{n1}	ΔP_{n2}	...	$\Delta P_{n(n-1)}$	0			
Результаты проверки на непротиворечивость:									

В таблице 1 проверка статистических данных на непротиворечивость осуществляется сравнением суммы разностей, полученных при парном сравнении систем с контрольным числом равным 0 (нулю). Если выполняется условие, заданное формулами (2) и (3):

$$\sum_{z=1}^{z=n} U_z = 0 \quad (2),$$

то это значение соответствует норме, во всех других случаях программа выводит сообщение об ошибке. Где U_z – это количество баллов, набранных системой по результатам сложения разностей ($\Delta P_{z(z-1)}$), формула (3):

$$U_z = \sum_{z=1}^{z=n} \Delta P_{z(z-1)} \quad (3).$$

В методике предусмотрена оценка качества систем 4 способами: на основе рейтинга систем по показателям оценки качества с учетом и без учета нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i), а также на основе статистической информации с учетом (пример – табл. 2) и без учета нормированных коэффициентов важности.

Таблица 2

Результаты оценки качества систем на основе статистической информации с учетом нормированных коэффициентов важности показателей (g_i)

Место рейтинге	Система	Показатели оценки качества технических систем				
		Q_n	$P1n, (g1)$	$P2n, (g2)$	...	$Pin, (gi)$
			ед. изм.	ед. изм.	...	ед. изм.
1					...	
...z,...					...	
n					...	
Максимально допустимое значение показателя			$P1max$	$P2max$	...	$Pimax$
Минимально допустимое значение показателя			$P1min$	$P2min$	...	$Pimin$
Результаты проверки (позволяют учитывать специфику и ограничения при функционировании системы)			если $P1min < P1n < P1max$ то норма, иначе ошибка и система n удаляется из списка систем для оценки качества	если $P2min < P2n < P2max$ то норма, иначе ошибка и система n удаляется из списка систем для оценки качества	...	если $Pimin < Pin < Pimax$ то норма, иначе ошибка и система n удаляется из списка систем для оценки качества

При оценке качества с использованием экспертной информации используются разработанные при совершенствовании метода парных сравнений логические выводы (табл. 3) и проверочные значения (табл. 4), а также взаимосвязанные по соответствующим столбцам расчетные таблицы для рациональной обработки экспертной информации, пример – таблица 5.

Таблица 3

Возможные логические выводы по результатам сравнения системы n с системой $(n+1)$ ($Rn(n+1)$) в зависимости от результатов сравнения системы $(n-1)$ с системой n ($R(n-1)n$) и системы $(n-1)$ с системой $(n+1)$ ($R(n-1)(n+1)$)

Результаты сравнения системы $(n-1)$ с системой $(n+1)$ ($R(n-1)(n+1)$)	Результаты сравнения системы $(n-1)$ с системой n ($R(n-1)n$)		
	$R(n-1)n=2$, система $(n-1)$ лучше системы n	$R(n-1)n=1$, системы $(n-1)$ и n равны	$R(n-1)n=0$, система $(n-1)$ хуже системы n
$R(n-1)(n+1)=2$, система $(n-1)$ лучше системы $(n+1)$	?*	$Rn(n+1)=2$	$Rn(n+1)=2$
$R(n-1)(n+1)=1$, системы $(n-1)$ и $(n+1)$ равны	$Rn(n+1)=0$	$Rn(n+1)=1$	$Rn(n+1)=2$
$R(n-1)(n+1)=0$, система $(n-1)$ хуже системы $(n+1)$	$Rn(n+1)=0$	$Rn(n+1)=0$	?*
*Примечание: «?» - логический вывод сделать невозможно, эксперту необходимо самостоятельно определить значение $Rn(n+1)$.			

Таблица 4

Проверочные значения
при использовании метода парного сравнения от 2 до n систем

Кол-во систем	Максимально возможные количественные значения:		Максимально возможные количественные значения:		Контрольное число суммы баллов для всех сравниваемых систем в количестве n , $B_n = n^2$
	суммы баллов для одной системы, z $B_{z_{\max}} = 1 + 2(n-1)$	коэффициента качества системы: $K_{z_{\max}} = \frac{(1+2(n-1))}{n^2}$	суммы баллов для одной системы, z $B_{z_{\min}} = 1$	коэффициента качества системы $K_{z_{\min}} = \frac{1}{n^2}$	
2	3	0,75	1	0,25	4
...	...	...	1	...	...
19	37	0,102493	1	0,00277	361
20	39	0,0975	1	0,0025	400
...	...	...	1	...	...
n	$B_{z_{\max}} = 1 + 2(n-1)$	$K_{z_{\max}} = \frac{(1+2(n-1))}{n^2}$	1	$K_{z_{\min}} = \frac{1}{n^2}$	$B_n = n^2$

Применение таблиц 3 и 4 дает возможность автоматической программной реализации в режиме реального времени процедур заполнения таблицы 5 на основе первоначальной информации от эксперта.

Столбцы $(n+2)$, $(n+3)$ и $(n+4)$ в таблице 5 заполняются на основании формул и проверочных значений, представленных в таблице 4.

Таблица 5

Таблица обработки и систематизации экспертной информации при оценке качества n систем методом парного сравнения

№ эксперта _____	Системы				Коэф. качеств.,	Кол-во баллов,	Пров-ка	Источники информ. о системах		Дата
Системы	1	2,...z,...	n-1	n	Kz	Bz		Внут-ренние	Внеш-ние	
1	2		n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7
1	1	$R1z$	$R1(n-1)$	$R1n$	$K1$	$B1$				
2	2- $R12$	$T3^*$	$T3^*$	$T3^*$	$K2$	$B2$				
3	2- $R13$	$T3^*$	$T3^*$	$T3^*$	$K3$	$B3$				
...z,...	2- $R1z$	1	$T3^*$	$T3^*$	Kz	Bz				
n-1	2- $R1(n-1)$	$R(n-1)z=2-Rz(n-1)$	1	$T3^*$	$K(n-1)$	$B(n-1)$				
n	2- $R1n$	$Rnz=2-Rzn$	2- $R(n-1)n$	1	Kn	Bn				
Сумма:										
Проверка данных на непротиворечивость:										
* Примечание: «Т3» - означает, что данная ячейка заполняется автоматически при помощи правил, систематизированных в ранее приведенной таблице 3.										

На заключительном этапе методики лицу, принимающему решение, представляются результаты оценки качества систем и автоматически составляется рейтинг качества систем для обоснованного выбора лучшей системы из списка оцениваемых.

Таким образом, составление рейтинга будет способствовать принятию своевременных системотехнических решений по модернизации действующих систем [5, с. 97]. Применение в Методике систематизированных расчетных таблиц, а также формализации правил логических выводов и проверочных значений позволяет проводить расчеты с помощью общедоступных компьютерных программ (MatLab, Excel и др.), что обеспечивает универсальность и простоту применения Методики в сфере обеспечения принятия своевременных и обоснованных управленческих решений по развитию и совершенствованию различных технических систем.

Список литературы

1. Gerami J. An interactive procedure to improve estimate of value efficiency in DEA // Expert Systems with Applications. 2019. № 137. - P. 29-45.
2. Duer S. Assessment of the operation process of wind power plant's equipment with the use of an artificial neural network // Energies. 2020. № 13. Art. 2437.
3. Dagli C.H. Emerging technologies for evolving systems: Socio-technical, cyber and big data // Procedia Computer Science. 2013. 20. P. 9-10.
4. Билятдинов К.З., Меняйло В.В. Методология оценки качества систем в сфере устойчивости больших технических объектов // Век качества. №2. 2020. С. 198-214.
5. Шестаков А.В. Введение в методологию обработки геопространственных данных генотипа телекоммуникаций: монография / СПб.: ГУАП, 2016. – 325с.

05.13.01

**А.В. Бродский канд. техн. наук, И.Б. Гинзбург канд. техн. наук,
В.А. Столярчук канд. техн. наук**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, brodski1954@gmail.com, iliagi@mail.ru, stolyarchukva609@mail.ru

ЭВОЛЮЦИЯ СПОСОБОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В статье описана эволюция организационных практик и технологий для обеспечения процесса дистанционного обучения студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также слушателей курсов профессиональной переподготовки. В данном контексте учащиеся представляются людьми взрослыми и обладающими определенной самостоятельной мотивацией к освоению учебного материала. Рассматриваются общие цели и задачи дистанционного обучения, вопросы организации процесса дистанционного обучения и инструментарий для преподавателей и студентов, используемый в данном процессе.

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, технологии дистанционного обучения, развитие способов дистанционного обучения.

Первые возможности дистанционного обучения (ДО) появились с возникновением наскальных рисунков, как способа отделения знания от его носителя. С появлением письменности возникли различные носители текста: таблички, свитки и отдельные страницы папируса, пергамента или бумаги и, наконец, книги. С появлением книг стало возможным самостоятельное изучение больших объемов материала. Когда широкому кругу лиц стала доступна обычная почта, появилась возможность ДО, основанного на обмене письмами. Первые упоминания такого способа ДО относятся к XVIII–XIX вв. [1]

В начале XX в. к почте добавилось радио, а в середине XX в. – телевидение и проводной телефон. Это позволило полностью задействовать основные каналы восприятия человека: зрение и слух, а также обеспечить некоторый уровень интерактивности. С развитием технологий ближе к третьей четверти XX в. в качестве средств ДО добавились звукозаписи и видеозаписи, в конце XX в. – Интернет [2].

Книга до сих пор самый надежный, долговечный и простой в обращении источник информации. Но работа с книгой требует, во-первых, ее наличия там, где это нужно, во-вторых, определенного умения. Даже выполнив все условия, в обычной книге нельзя сделать полнотекстовый поиск по содержанию, а уж в целой библиотеке тем более. Такие же проблемы возникают при поиске по контексту в аудио- и видеозаписях.

Обычно обучение с книгой и при использовании аудио- и видеоматериалов требует присутствия преподавателя в аудитории для обеспечения навигации учащихся по материалу и взаимодействия с аудиторией при возникновении каких-то вопросов.

Исключением являются специально разработанные учебники и материалы, полностью соответствующие программе изучаемой дисциплины. В этом случае учащиеся на протяжении определенного периода обучения работают только с одним источником информации, последовательно его изучают и выполняют предложенные там задания. Примером таких учебников являются школьные учебники. Такие учебники можно сразу использовать для ДО.

В высших учебных заведениях и на курсах повышения квалификации по одной преподаваемой дисциплине может одновременно использоваться несколько источников информации и учащимся может быть трудно освоить самостоятельно весь предложенный материал. Чтобы обеспечить эффективный процесс освоения материала всех источников при ДО необходимо создать понятные методические указания по освоению материалов из предложенных источников и выполнению проверочных заданий. Разработанные методические указания должны использоваться совместно с набором материалов источников.

С распространением персональных компьютеров (ПК) и цифровых записывающих устройств стало возможным создавать текстовую, аудио и видео информацию в электронной форме, а появление глобальной компьютерной сети Интернет сделало возможным передачу неограниченного объема информации в любую точку земного шара и даже в космос.

С использованием ПК и Интернета появились новые возможности организации учебных материалов. Стало возможным не только использование бумажных учебных материалов, совместно с методическими указаниями по их освоению но и создание электронных учебных материалов по различным дисциплинам, структурированных таким образом, чтобы обеспечить наилучшее восприятие, последовательное непрерывное освоение, и как результат – персонализированное образование с индивидуальной образовательной траекторией. Такие материалы создаются и передаются в через сеть Интернет в виде файлов для скачивания в различных форматах или веб-страниц с текстом, изображениями и встроенным медиаконтентом.

Создание цифровых материалов позволяет обеспечить учебный процесс по дисциплине всеми необходимыми учебными материалами и заданиями, а использование сети Интернет позволяет обеспечить использование данных материалов вне стен учебного заведения для целей ДО.

В настоящее время обычная почта заменена электронной. Для обеспечения ДО используются различные информационные системы, среди которых: системы управления контентом, как у обычных веб-сайтов; форумы; вики-системы; специализированные системы управления ДО, сочетающие в себе функции других названных систем и дополняющие их возможностями проведения различного вида тестов и автоматизированным учетом студентов; системы управления виртуальными рабочими столами для проведения лабораторных работ со специализированным программным обеспечением [3, 4].

Повсеместное распространение ПК, мобильных устройств, смарт-телевизоров подключенных широкополосному Интернету, а также наличие у большинства этих устройств микрофонов и видеокамер высокого разрешения, позволили обеспечить полное погружение учащихся в учебный процесс.

Благодаря этому ДО больше не является видом заочного обучения, а является, при должной организации, полноценным вариантом очного обучения. Помимо сравнения с очным обучением, использование ДО позволяет достичь целей, достижения которых традиционное очное обучение обеспечить не может в силу своей специфики.

Главной целью ДО является обучение студентов вне стен учебного заведения, без его посещения, без длительных поездок, без нескольких лет жизни, прожитых в общежитии вдали от дома.

Достижение этой цели становится все более необходимым в условиях увеличения потребности обучения все большего числа территориально распределенных учащихся по унифицированным программам дисциплин.

Дополнительными целями ДО является:

- персонализированное образование с индивидуальной образовательной траекторией для большого количества учащихся (формирование индивидуальной программы, набора и последовательности изучаемых дисциплин);
- общение в онлайн с преподавателем и другими учащимися различными способами (для обсуждения вопросов и получения консультаций);

- обеспечение доступа учащихся ко всем необходимым учебным материалам и методическим пособиям из любого места и с любого устройства;
- обеспечение объективного и беспристрастного оценивания работ студентов (путем независимого тестирования или анонимной проверки работ);
- привлечение к процессу обучения лучших преподавателей из разных регионов, специалистов совместителей и экспертов в разных областях (позволяет создавать уникальные учебные коллективы);
- увеличение количества обучающихся студентов у одного преподавателя без увеличения нагрузки на самого преподавателя;
- высвобождение времени для творческих проектов студентов и преподавателей во время обучения [5] (за счет уменьшения времени на рутинный поиск и обработку информации).

На достижение этих целей направлен эволюционный процесс развития способов и технических средств ДО. Современное ДО позволяет достигнуть всех перечисленных целей. Такие возможности ДО делают его доступным для самого широкого круга учащихся, которые, в противном случае, не смогли бы получить образование не выходя из дома.

Список литературы

1. *Holmberg B.* The Evolution, Principles and Practices of Distance Education // ASF series (Vol. 11). Studien und Berichte der Arbeitsstelle Fernstudienforschung der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (Vol. 11), Arbeitsstelle Fernstudienforschung. Bis, 2005. 171 p.
2. *Cuban L.* Teachers and Machines: The Classroom of Technology Since 1920 // Teachers College Press; 60355th edition (June 15, 1986). 144 p.
3. *Кондрашов Ю.Н.* Использование аналитических технологий в системах поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла аэрокосмических изделий // Научно-технический вестник Поволжья. Казань 2019. № 5. С. 37-41.
4. *Кондрашов Ю.Н.* Развитие хранилищ данных для работы с Big Data в системах поддержки принятия решений // Научно-технический вестник Поволжья. Казань 2019. № 9. С. 30-33.
5. *Макарова С.М., Падалко С.Н., Строгонова Л.Б., Терентьев М.Н.* Непрерывный круглосуточный медицинский контроль психофизиологического состояния и координат космонавтов с использованием беспроводной сенсорной сети // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 2. С. 177-181.

05.13.01

Д.С. Горбатенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, mai_kaf604@mail.ru

НЕТРЕЗВОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЯ КАК ПРИЧИНА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

В статье рассматривается проблематика управления транспортными средствами водителями, находящимися в алкогольном или наркотическом опьянении. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием водителей, находящихся в нетрезвом состоянии. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности по вине водителей, находящихся в нетрезвом состоянии.

Ключевые слова: безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие, алкогольное опьянение, наркотическое опьянение, нетрезвое состояние, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.

Проблема управления транспортными средствами (ТС) водителями, находящимися в алкогольном или наркотическом опьянении, является одной из наиболее острых проблем обеспечения безопасности дорожного движения. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) с участием нетрезвых водителей приводят к страшным последствиям - гибели людей.

На улично-дорожной сети (УДС) Московской области ежегодно в среднем 12 % от общего количества ДТП с пострадавшими составляют ДТП с участием водителей ТС, находящихся в алкогольном или наркотическом опьянении, в среднем 20 % от числа погибших в ДТП - это погибшие в ДТП с участием нетрезвых водителей ТС, и в среднем 13 % от числа раненных в ДТП - это раненные в ДТП с участием нетрезвых водителей.

В свою очередь, почти в 90 % из них водители помимо нахождения в нетрезвом состоянии еще и нарушили требования правил дорожного движения (ПДД), т.е. являлись виновниками ДТП. Из них в среднем 20 % водителей в нетрезвом состоянии - виновников ДТП – не имели (либо были лишены) права на управление ТС.

В среднем 80 % водителей в нетрезвом состоянии - виновников ДТП – граждане России, из них в среднем 60 % жители Московской области, в среднем 20 % - жители г. Москва.

В среднем 30 % водителей в нетрезвом состоянии - виновников ДТП имели водительский стаж от 10 до 20 лет, 25 % имели водительский стаж 20 лет и более, 15 % имели водительский стаж от 5 до 10 лет.

Самыми распространенными нарушениями ПДД, приведшими к ДТП, водителями ТС, находящимися в нетрезвом состоянии, являлись: несоответствие скорости конкретным условиям движения (в среднем в 25 % ДТП); выезд на полосу встречного движения (в среднем в 18 % ДТП); неправильный выбор дистанции и превышение установленной скорости движения (каждое в среднем в 12 % ДТП); несоблюдение очередности проезда (в среднем в 10 % ДТП); нарушение правил расположения ТС на проезжей части (в среднем в 8 % ДТП); и нарушение правил проезда пешеходных переходов (в среднем в 6 % ДТП).

В среднем в 38 % ДТП водители, находившиеся в нетрезвом состоянии и являвшиеся виновниками ДТП, находились в возрастной группе от 30 до 40 лет, в среднем в 22 % ДТП - в возрасте 40-50 лет, в среднем в 21 % ДТП - в возрасте 20-30 лет, и в среднем в 11 % ДТП водители в возрасте от 50 до 60 лет.

В среднем в 75 % ДТП водители в нетрезвом состоянии - виновники ДТП управляли легковыми автомобилями.

В среднем 42 % ДТП произошли в светлое время суток, 35 % в темное время суток при включенном освещении, и 21 % в темное время суток при выключенном или отсутствующем освещении проезжей части.

В среднем почти половину (47 %) ДТП по вине нетрезвых водителей составляли столкновения, 22 % наезды на препятствия, 14 % опрокидывания, 8 % наезды на пешеходов 6 % наезды на стоящие ТС, и по 1 % наезды на велосипедистов и съезды с дорог.

В среднем 70 % ДТП по вине нетрезвых водителей происходило на участках УДС области регионального и муниципального значения [1].

Анализ статистических данных об аварийности с участием и по вине водителей, находящихся в алкогольном или наркотическом опьянении, позволил сделать следующие выводы:

- в большинстве случаев водитель, управляющий ТС в состоянии алкогольного или наркотического опьянения, нарушает требования ПДД, что приводит к ДТП;
- как правило, водитель, управляющий ТС в состоянии алкогольного или наркотического опьянения, это взрослый человек с солидным водительским стажем;
- появление на УДС ТС под управлением водителя в нетрезвом состоянии не зависит от времени суток и наличия искусственного освещения проезжей части.

Также можно предположить, что водители в нетрезвом состоянии опасаются двигаться по автодорогам федерального значения, а предпочитают движение по более «тихим» автодорогам регионального значения. Возможно, это объясняется большим присутствием на автодорогах федерального значения инспекторов дорожно-патрульной службы (ДПС), а также большим наличием средств видеоконтроля за движением.

Степень опьянения оценивается по количеству алкоголя, содержащегося в крови человека. Алкоголь и наркотические вещества это, пожалуй, самые коварные враги водителя, поскольку делают его беззащитным перед возникающей опасностью. Нетрезвый человек склонен завышать свои возможности. Это также причина замедления, ослабления умственных и физических функций организма. Нетрезвый водитель теряет компетентность, самообладание, концентрацию, способность принятия адекватных решений. Необходимо отметить, что даже небольшое содержание алкоголя в крови водителя крайне отрицательно сказывается на способности управлять ТС. Безопасным порогом можно условно считать 0,2 промилле. При таком содержании алкоголя функции организма не изменяются [2].

При достижении содержания алкоголя показателя 0,5 промилле, в результате появляющейся самоуверенности, и возможности неадекватно оценивать обстановку, вождение становится более агрессивным и рискованным. Водитель может нарушать правила обгона, не соблюдать дистанцию и т.п.

Содержание алкоголя от 0,5 до 0,8 промилле провоцирует снижение реакции и притупляет внимание. Водитель намного сложнее адаптируется к изменению освещенности, что делает рискованным управление ТС в темное время суток. Также возможна неадекватная реакция на изменение дорожной обстановки.

При содержании алкоголя в крови водителя на уровне от 0,8 до 1,2 промилле уменьшается угол зрения, что нарушает нормальное восприятие окружающих предметов. Водитель при таком опьянении переоценивает свои возможности, может не замечать автомобили, движущиеся параллельно, а также других участников движения.

При тяжелой степени опьянения существенно изменяются функции организма. От уровня 2,4 промилле можно говорить, что водитель представляет чрезвычайную опасность для окружающих. Он не в состоянии адекватно реагировать на дорожную обстановку. Заторможенность и нарушение реакции может приводить к значительным ошибкам в управлении: водитель может перепутать педали, а появляющаяся чрезмерная агрессивность может побудить его сознательному нарушению ПДД [3].

Пьянство за рулем – серьезная проблема, которая требует самых серьезных решений. При этом надо понимать, что управление ТС в состоянии алкогольного или наркотического опьянения все-таки является сопутствующим, а не непосредственным фактором возникновения ДТП. Необходимо подчеркнуть, что для многих водителей основной причиной не приступить к управлению автомобилем в нетрезвом состоянии является вероятность быть «пойманными» при движении сотрудниками дорожно-патрульной службы (ДПС), с перспективой больших финансовых потерь или лишения права на управление транспортным средством, а не психофизиологическое состояние организма.

Основными направлениями профилактики пьянства за рулем могут быть следующие.

1. Необходимо увеличение численности инспекторов ДПС, что позволит останавливать ТС, движение которых дает основание полагать, что водитель находится в нетрезвом состоянии. Существующая сейчас в результате прошедших сокращений численность инспекторов ДПС не позволяет оптимально контролировать движение на обслуживаемых участках УДС.

2. Расширение сети медицинских пунктов, имеющих возможность осуществлять освидетельствование водителей на алкогольное или наркотическое опьянение. Это может быть реализовано путем внедрения передвижных лабораторий, а также возврат лицензий на право освидетельствования всем районным больницам. Это даст возможность минимизировать время доставки водителя, имеющего признаки алкогольного или наркотического опьянения, к месту проведения освидетельствования.

3. Внедрение специальных технических средств, работающих по принципу «Алкозамок». В случае посадки в автомобиль водителя, находящегося в нетрезвом состоянии, запуск двигателя будет заблокирован. Также необходимо, чтобы в любой момент управления автомобилем система запрашивала повторный тест, в целях исключения ситуации, при которой водитель, находящийся в нетрезвом состоянии, попросит трезвого подуть в прибор. Если проверка выявит появление опьянения в процессе движения, система должна принуждать водителя к остановке [4].

Заключение. Алкогольное или наркотическое опьянение водителя транспортных средств повышает вероятность столкновения, как с попутным, так и встречным автомобильным транспортом; наездов на стоящий автомобильный транспорт, препятствия, пешеходов; съездов с дороги при маневрировании. Алкоголь и наркотики затормаживают реакцию на опасность. Алкогольное или наркотическое опьянение увеличивает вероятность гибели или получения тяжелого вреда здоровью вовремя и после происшествия. Водитель, управляющий транспортным средством в нетрезвом состоянии, не только рискует сам, но и обрекает на печальную участь других участников дорожного движения.

Список литературы

1. Статистические данные о дорожно-транспортной аварийности на территории Московской области за 2013-19 г. М. УГИБДД ГУ МВД России по Московской области, 2013-19;
2. Лукьянов В.В. Безопасность дорожного движения. М. Транспорт, 2008, -106 с.;
3. Климовитейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. М. Транспорт, 2001, -248 с.;
4. Горбатенко Д.С. Аварийность на автомобильном транспорте, используемом в режиме каршеринга. Казань, журнал «Научно-технический вестник Поволжья», выпуск № 12, 2019 г., с. 59-61.

05.13.01

А.В. Ишмаева, А.М. Пищухин д-р техн. наук

Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, pishchukhin55@mail.ru, avi5690@mail.ru

О СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ

Доходная часть бюджетов муниципальных образований во многом зависит от пополнения собственных средств муниципалитетов, в том числе пополнения от налогов и сборов. Налоговую базу для расчета земельного налога формирует кадастровая стоимость земельного участка, которая зависит от многих факторов. В зависимости от имеющихся на земле объектов недвижимости, от установленных правилами землепользования и застройки видов разрешенного ее использования и других сопутствующих факторов изменяется (переключается) модель кадастровой оценки. Для систематизации этих переключений в статье разрабатывается метасистемный подход к выбору модели определения кадастровой стоимости земельного участка. Такой адаптивный выбор позволяет сделать справедливой расчет кадастровой стоимости и существенно снизить процент оспаривания ее размера, способствуя пополнению муниципального бюджета.

Ключевые слова: кадастровая оценка, метасистемный подход, разрешенное использование недвижимости, рыночная стоимость, муниципальный бюджет.

В соответствии с федеральным законодательством о принципах местного самоуправления к компетенции муниципальных образований относится широкий спектр вопросов, носящих в значительной степени социальный характер. Для обеспечения своей деятельности муниципальными образованиями формируются собственные местные бюджеты, от пополнения которых напрямую зависит решение тех или иных вопросов жизнедеятельности муниципальных образований. Доходная часть денежных средств бюджетов во многом зависит от пополнения собственных средств муниципалитетов, в том числе от поступления налогов и сборов. Остановимся подробнее на земельном налоге и некоторых особенностях его исчисления.

Налоговую базу для расчета земельного налога формирует кадастровая стоимость земельного участка [1]. Процесс определения кадастровой стоимости объекта недвижимости заключается в определении уполномоченным органом наиболее вероятностной рыночной цены добровольного отчуждения объекта недвижимости при условии свободной конкуренции [2].

Одним из факторов определяющим рыночное сегментирование, осуществляемое для целей расчета кадастровой стоимости земельных участков, является вид разрешенного использования. Остановимся подробнее на этом понятии.

Разрешенное использование – это дополнительная характеристика объекта недвижимости, установленная по принципу территориального зонирования в соответствии с правилами землепользования и застройки, утвержденными на территории расположения объекта, и классификатором видов разрешенного использования земельных участков, утвержденным приказом Минэкономразвития России от 01.09.2014 № 540.

С точки зрения методологии кадастровой оценки под разрешенным использованием земельного участка понимается фактически существующее и обеспечивающее наиболее эффективное использование земельного участка по назначению.

Процесс определения кадастровой стоимости объектов недвижимости является периодической процедурой, но системность процесса заключается не только в регулярности проведения, процесс массовой государственной кадастровой оценки включает этапы [3]: определение ценообразующих факторов, группировка объектов по сегментам рынка, сведения о значимых ценообразующих факторах, сбор рыночной информации, группировка, построение модели, оценка качества модели, расчет, анализ результатов, подготовка отчетности.

При определении кадастровой стоимости применяются методы массовой кадастровой оценки, которые в свою очередь подразумевают группирование объектов по схожим характеристикам и оценку возможности применения единой методологии расчета. В иных случаях расчет может осуществляться в индивидуальном порядке.

Существует три основных подхода к расчету: сравнительный, доходный, затратный. Основой для расчета является достоверная и достаточная рыночная информация о сделках.

Применение той или иной модели кадастровой оценки выстраивает внутрисистемную функцию переключения (замены) применяемой модели при изменении ценообразующих характеристик объекта недвижимости (разрешенное использование) на более эффективную [4]:

$$r: W \rightarrow F$$

где r – функция переключения, реализующая описываемое переключение (переключение моделей кадастровой оценки, в зависимости от эффективности применения, изменения ценообразующих характеристик); W – параметрическое множество, определяющее размер кадастровой стоимости (множество ценообразующих параметров, выделение наиболее значимых); F – множество нейтральных систем с поведением, чьи параметрические множества являются подмножествами W (применение некоторой методологии для оценки некоторого объекта недвижимости в некотором рыночном сегменте).

Оценка верна, если определенная кадастровая стоимость не превышает рыночной стоимости объекта. В противном случае возникает основание для оспаривания размера кадастровой стоимости, инициируемое собственником либо пользователем объекта недвижимости

В таблице 1 приведена информация о количестве заявлений, поданных в Комиссию по рассмотрению споров о результатах определения кадастровой стоимости, созданную при территориальном органе Росреестра по основаниям для пересмотра результатов определения кадастровой стоимости [5].

Таблица 1 – Процент поданных заявлений об оспаривании по основаниям

год подачи заявлений	Основание для пересмотра кадастровой стоимости			
	установление кадастровой стоимости в размере рыночной стоимости	недостоверность сведений об объекте недвижимости, использованных при определении	указаны оба основания	основание не указано
2016	87	12	0,46	0,54
2017	95,73	4,2	-	0,7
2018	92,1	7,8	-	0,1
2019	96,68	3,28	-	0,04
2020 (9 месяцев)	96,22	3,28	0,04	0,46

Из приведенных сведений видно, что ключевым основанием пересмотра величины кадастровой стоимости является установление кадастровой стоимости в размере рыночной.

Таблица 2- Процент снижения стоимости после ее оспаривания

2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год (9 месяцев)
12,20%	15,40%	21,20%	32,60%	30,10%

Анализируя обобщенные сведения о рассмотрении споров по результатам определения кадастровой стоимости в комиссиях при территориальных органах Росреестра (таблица 2), целесообразно сделать вывод о существенных расхождениях величины кадастровой стоимости заявленных объектов недвижимости по отношению к их рыночным величинам. При этом расхождение в пятилетней динамике возрастает.

Исходя из изложенного, при подготовке к проведению кадастровой оценки необходимо максимально эффективно использовать информацию о рынке недвижимости с целью минимизации возможного расхождения показателя, влекущего за собой недоверие к осуществляемому расчету.

Осуществление деятельности на земельных участках вне возможных установленных правилами землепользования и застройки видов разрешенного использования (основного, вспомогательного, условного) является нарушением норм действующего законодательства, и влечет применение уполномоченным органом установленных законом процедур привлечения к ответственности землепользователей и землевладельцев.

В указанном ракурсе правомерно введение понятия нецелевого использования земельного участка. Здесь одним из основных регулирующих рычагов выступает осуществление муниципального земельного контроля.

Указанные нарушения могут быть выявлены посредством плановых проверок уполномоченного органа (документационного и/или рейдового) и внеплановых проверок спровоцированных поступившим обращением (жалобой) на нарушение в части использования земельного участка не по назначению.

На территории Оренбургской области осуществление муниципального контроля регламентируется Законом Оренбургской области от 27.10.2016 № 30/8-VI-ОЗ «О порядке осуществления муниципального земельного контроля на территории Оренбургской области» [6], согласно которому функции по осуществлению муниципального земельного контроля отнесены к компетенции органов местного самоуправления области.

С целью повышения эффективности использования земельных участков с 1 января 2020 года внесены изменения в Бюджетный кодекс РФ, согласно которым штрафы, назначенные по итогам муниципального земельного контроля, поступают в бюджеты муниципальных образований. Следовательно, усиление земельного контроля носит экономический эффект и служит дополнительным источником поступления собственных средств в местные бюджеты.

Таким образом, объективный анализ рыночной информации, актуализация сведений о виде разрешенного использования земельных участков, своевременный муниципальный земельный контроль служат основой осуществления справедливого расчета кадастровой стоимости и существенно снижает процент оспаривания ее размера, способствуя пополнению муниципального бюджета.

Список литературы

1. Федеральный закон «О государственной кадастровой оценке» от 03.07.2016 N 237-ФЗ (последняя редакция). Режим доступа – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200504/ (дата обращения: 15.10.2020).
2. Приказ Минэкономразвития России от 12.05.2017 № 226 (ред. от 09.09.2019) «Об утверждении методических указаний о государственной кадастровой оценке» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.05.2017 № 46860). Режим доступа - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217405/ (дата обращения: 12.10.2020).
3. Приказ Минэкономразвития России от 22.10.2010 N 508 (ред. от 22.06.2015) «Об утверждении Федерального стандарта оценки «Определение кадастровой стоимости (ФСО N 4)» Режим доступа – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113247/ (дата обращения: 22.10.2020).
4. *Клир Дж.* Системология. Автоматизация решения системных задач.-М.: Радио и связь, 1990.-544 с.
5. Обобщенные сведения о рассмотрении споров о результатах определения кадастровой стоимости в комиссиях при территориальных органах Росреестра. Режим доступа – URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/kadastrrovaya-otsenka/rassmotrenie-sporov-o-rezultatakh-opredeleniya-kadastrvoy-stoimosti-informatsiya-o-deyatelnosti-komissiy-po-rassmotreniyu-sporov-o-rezultatakh-opredeleniya-kadastrvoy-/> (дата обращения: 18.10.2020).
6. О порядке осуществления муниципального земельного контроля на территории Оренбургской области (с изменениями на 7 декабря 2018 года). Режим доступа – URL: <http://docs.cntd.ru/document/446697211> (дата обращения: 25.10.2020).

05.13.01

А.М. Пищухин д-р техн. наук

Оренбургский государственный университет,
аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, pishchukhin55@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КАК АБСТРАКТНЫМ ОБЪЕКТОМ

В работе исследуется многоуровневое управление экологической безопасностью региона. Поскольку это понятие абстрактное, все воздействия, равно как и определение уровня экологической безопасности должны проводиться на нижних уровнях. При этом воздействия не дублируют функции подсистем управления нижних уровней и раскладываются на параметрические, структурные и организационные. Оценка уровня экологической безопасности складывается из текущей оценки состояния всех элементов экологической системы, из оценки готовности служб ликвидации экологических угроз, а также из прогноза экологической обстановки. В работе так же разработана методика снижения экологических угроз с оптимизацией применяемых управляющих ресурсов. Она ранжирует экологически опасные объекты в порядке убывания коэффициента равного производству степени опасности на затраты по снижению на единицу этой степени опасности и на основе минимизации лагранжиана оптимально распределяет выделенные управляющие ресурсы.

Ключевые слова: экологическая безопасность, абстрактный объект управления, параметрические воздействия, структурные воздействия, организационные воздействия, оптимальное распределение ресурсов.

Уровень экологической безопасности региона отражает в первую очередь современность используемых технологий производства продукции и переработки сырья [1]. Однако, несмотря на важность, это только статический уровень экологической безопасности. Необходимо также учитывать насколько быстро справляются службы, связанные с экологической безопасностью с нештатными ситуациями в динамике, а потому важна готовность этих служб.

На рисунке 1 изображена многоуровневая схема управления, отображающая структуру системы экологической безопасности региона, как абстрактного объекта [2]. На нижнем уровне находятся объекты, от которых исходят экологические угрозы, чаще всего это техногенные объекты, но могут быть и природные.

На втором уровне находятся службы, призванные контролировать и не допускать превышающих нормы экологических нарушений, спасать людей и материальные ценности, а так же ликвидировать аварии и возникающие очаги распространения загрязнителей. Сюда можно отнести в разной степени пожарную службу, службу гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, скорую медицинскую помощь, для Оренбургской области, в связи с добычей газа, важна газовая служба, различные экологические подразделения, которые имеются при различных опасных производствах, а также городские экологические службы.

Следующий уровень призван контролировать уровень готовности перечисленных экологических служб к отражению экологических угроз. Их готовность к выполнению возложенных на них функций проверяется тестовыми процедурами, к которым можно отнести учебные тревоги, отработку типовых реакций в заданных ситуациях, отработка методов устранения угроз и так далее. Соответственно по реакции на эти тестовые воздействия можно судить об уровне готовности различных служб.

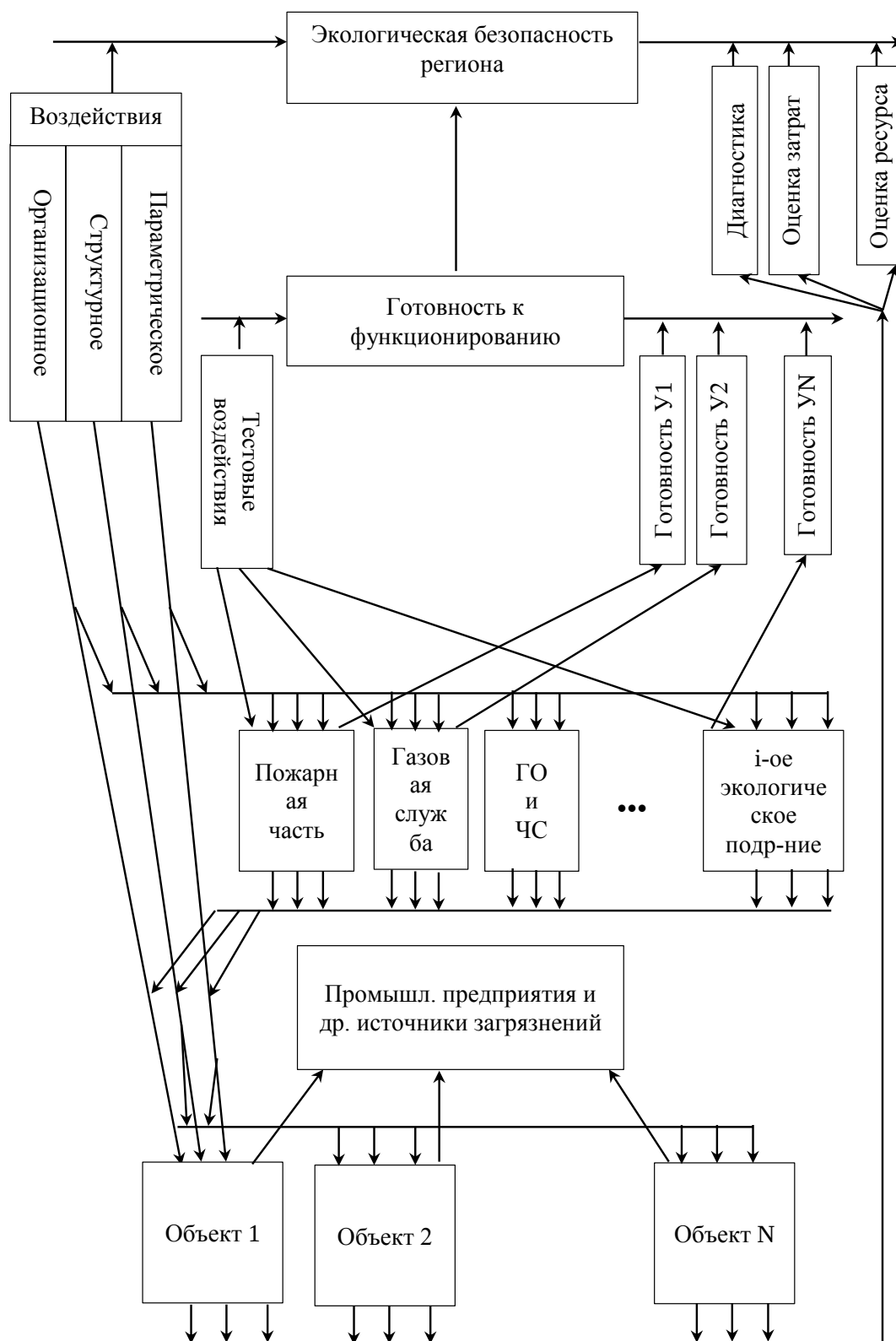


Рис. 1 – Схема управления системой экологической безопасности региона

Наконец, на верхнем уровне управления располагается экологическая безопасность региона. При этом у всех нижерасположенных объектов имеются свои системы управления, в непосредственное функционирование которых нет никакого смысла вмешиваться. Это означает, что воздействия верхнего уровня должны сводиться [3] к параметрическим установкам, структурным изменениям в технологии или системе управления, если они необходимы и, наконец, к организационным воздействиям, имеющим целью создание самых благоприятных условий с точки зрения достижения цели верхнего уровня управления – низкого уровня экологической опасности в регионе.

В итоге уровень экологической безопасности в регионе складывается из текущей экологической обстановки и состояния обеспечивающих служб (информация собирается от многочисленных датчиков и уполномоченных служб), из оценки уровня готовности экологических служб к отражению возникающих угроз и из прогноза экологической ситуации на ближайшую перспективу. От последнего в сильной степени зависит уровень готовности, на котором необходимо держать экологические службы (если прогнозируется угроза, то этот уровень соответственно повышается).

Для управления экологической безопасностью региона необходимо определиться с объемами управляющих ресурсов, вкладываемых в экологически опасные объекты с целью снижения техногенных угроз.

Пусть в регионе имеются n опасных объектов. Изначальный уровень экологической опасности i -го объекта, обозначим через P_i . Тогда исходный уровень экологической опасности в регионе оценим общей вероятностью (по аналогии с [4])

$$P = \prod_{i=1}^n (1 - (1 - P_i)^{m_i}) \quad (1)$$

где m_i – величина управляющих ресурсов, направляемая на i -ый объект для снижения экологической угрозы.

Направляя единичное управляющее воздействие на i -ый объект, мы уменьшаем вероятность экологической угрозы от i -ого объекта на малую величину q_i .

$$q_i = 1 - P_i \quad (2)$$

Преобразуя выражение (1) с учетом (2) получаем

$$P = \prod_{i=1}^n (1 - q_i^{m_i}) \quad (3)$$

Ввиду малости произведений q_i ограничимся простой суммой.

$$Q(\bar{m}) = \sum_{i=1}^n q_i^{m_i} \quad (4)$$

Стоимость единицы i -ого ресурса обозначим за c_i . Стоимость экологических мероприятий для всех экологически опасных объектов в регионе представим как

$$C = C(\bar{m}) = \sum_{i=1}^n c_i m_i \quad (5)$$

При постановке задачи максимизации уровня экологической безопасности региона необходимо определить значения m_i (для каждого из опасных объектов), обеспечивающие минимальные угрозы при условии, что стоимость мер по снижению этих угроз не превышает имеющейся суммы ($C(\bar{m}) \leq C_{\text{зад}}$).

Для постановки задачи оптимального управления составим лагранжиан

$$F(\bar{m}) = Q(\bar{m}) + \varepsilon(C_{\text{зад}} - C(\bar{m})) \quad (6)$$

где ε – неопределенный множитель Лагранжа

Необходимое условие экстремума функции $F(\bar{m})$ выражаются системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial F(\bar{m})}{\partial m_i} = 0 \\ C_{\text{зад}} = C(\bar{m}) \end{cases} \quad (7)$$

Совместное решение системы уравнений (7) позволяет определить n оптимальных значений m_i , которые могут получиться нецелочисленными.

Функцию Лагранжа перепишем в виде:

$$F(\bar{m}) = \sum_{i=1}^n q_i^{m_i} + \varepsilon(C_{\text{зад}} - \sum_{i=1}^n c_i m_i) \quad (8)$$

Подставив $F(\bar{m})$ в первое уравнение системы уравнений (7) получим:

$$m_i = \ln \frac{\varepsilon c_i}{\ln q_i} = \frac{\ln \varepsilon a_i}{\ln q_i}, \text{ где } a_i = \frac{c_i}{\ln q_i} \quad (9)$$

Для определения множителя Лагранжа ε , подставим m_i из выражения (9) в 2-ое уравнение системы (7)

$$\begin{aligned} C_{\text{зад}} &= \sum_{i=1}^n c_i m_i = \sum_{i=1}^n c_i \frac{\ln \varepsilon a_i}{\ln q_i} = \sum_{i=1}^n a_i \ln q_i \frac{\ln \varepsilon a_i}{\ln q_i} = \sum_{i=1}^n a_i (\ln \varepsilon + \ln a_i) = \\ &= \ln \varepsilon \sum_{i=1}^n a_i (1 + \ln a_i) = \ln \varepsilon \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n a_i \ln a_i \end{aligned} \quad (10)$$

Подставляя последнее выражение в (9), окончательно получим:

$$\ln \varepsilon = \frac{C_{\text{зад}} - \sum_{i=1}^n a_i \ln a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (11)$$

Или

$$m_i = \frac{1}{\ln q_i} \left[\frac{C_{\text{зад}} - \sum_{i=1}^n a_i \ln(-a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i} \right] \quad (12)$$

Проведенное исследование позволяет предложить следующую методику повышения уровня экологической безопасности региона.

Сначала необходимо проранжировать все опасные объекты региона с точки зрения угроз, которые они представляют, например, используя критерий

$$\lambda_i = O_i \cdot Ud_i,$$

где O_i – степень опасности объекта, Ud_i – удельные затраты на уменьшение степени опасности объекта на единицу.

Из полученного ряда следует выбрать самые опасные, например, в количестве десяти и оценить для них величины, необходимые для проведенного выше расчета.

Наконец, распределить выделенные управляющие ресурсы в количестве $C_{\text{зад}}$ в соответствии с рассчитанными по формуле (12) долями и реализовать полученный оптимальный процесс управления. В итоге, управляющие ресурсы будут распределены оптимальным образом, кумулятивно и принесут максимальное повышение уровня экологической безопасности региона.

Список литературы

1. Гончарук Т. Эколого-экономические аспекты управления промышленным предприятием // Проблемы теории и практики управления. -1999.- №1,-С.95-101.
2. Ахмедьянова Г.Ф, Пищухин АМ, Пищухина Т.А. Исследование алгоритмов управления абстрактным объектом // Фундаментальные исследования. 2018. № 4. С. 34-38.
3. The formation abstract representations in the product quality management/ Pishchukhin A.M., Akhmedyanova G.F. / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. С. 062032.
4. Яковлев А.В. Надежность информационных систем. Лекционный материал. Муром 2004.-63 с.

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

05.13.06

Ю.Ж. Дондоков канд. техн. наук, Д.А. Бетюнская, А.П. Алексеев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет»

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗА
ПУТЕМ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА**

На современном этапе основа для производства биогаза в сельском хозяйстве – утилизация отходов растениеводства и навозных стоков животноводческих ферм. Биогаз благодаря высоким антидетонационным свойствам может служить отличным топливом для двигателей внутреннего сгорания с принудительным зажиганием, а также для дизелей, не требуя их дополнительного переоборудования (проводятся лишь регулировки системы питания). При использовании биогаза в качестве топлива для дизельных двигателей необходимо очистить его от сероводорода, воды и углекислого газа, а также компримировать (сжать) для более эффективного заполнения баллонов. Отсутствие технологий по переработке навоза приводит к многолетним накоплениям навоза около ферм, расположенных рядом с естественными водоемами, что влечет за собой их сильное загрязнение. Так, из-за попадания в озера биогенных элементов содержание нитратов, нитритов, аммония и фосфатов превышает допустимые нормы. В некоторых озерах Заречной группы районов Республики Саха (Якутия) отмечено превышение ПДК нитратов в 110-120 раз, фосфатов - в 70-80 раз. В статье описан метод переработки отходов животноводческих ферм, для обеспечения экологичности. Метод заключается в метановом сбраживании навоза и выделением газа.

Ключевые слова: *сбраживание навоза, технология переработки навоза, утилизация, экологичность, экономический эффект.*

Эксплуатация биогазовых установок дает как прямой экономический эффект (дешевое топливо), так и дополнительный [5]. Под последним понимают в первую очередь повышение ценности органических удобрений, получаемых после сбраживания. Это повышает эффективность внесения шлама под зерновые культуры. На территории Якутии хорошо развито животноводство, в связи с этим возникает проблема утилизации навоза. Это большая проблема из-за высокой концентрации животных на ограниченной территории и нарушения равновесия между его поголовьем и площадями земельных угодий. В связи с этим целью данной работы является изучение технологии переработки отходов животноводства путем анаэробной обработки для извлечения тепловой энергии. В условиях сельскохозяйственного производства в качестве сырьевой базы может быть навоз. Для оценки потенциальной энергии, заложенной в биомассе, рационально рассмотреть процесс сбраживания навоза, при котором получают биогаз. При переработке навоза в анаэробных условиях резко снижаются порог его запаха, всхожесть семян сорных растений, гибнут гельминты, практически полностью сохраняются питательные вещества (азот, фосфор, калий). Получаемый биологический газ содержит до 70 % метана, теплотворная способность составляет 24 МДж/м³. При этом решается задача защиты окружающей среды. Определение показателей, характеризующих эффективность технологий, связано со значительными трудностями. При сбраживании выделяется биогаз, который по газопроводу отводится в газгольдер или через водяной затвор сбрасывается в атмосферу [1]. Из газгольдера биогаз подается (по мере надобности) потребителям.

По результатам исследований можно сделать вывод, что использовать биогаз в двигателях внутреннего сгорания целесообразно после предварительной очистки от углекислого газа и сернистых соединений. Испытания установки показали удовлетворительную работоспособность метантенка, газгольдера, устройства для предварительного нагрева навоза, линии его подачи, а также системы автоматики и контроля за технологическим процессом. Биоэнергетическая установка может перерабатывать навоз, получаемый от 30 условных животных в сутки.

На рис.1 Схема биоэнергетической установки для фермы на 400 животных. Расход энергии на собственные нужды составил на мезофильном режиме 59...62 %, в отдельных случаях – 70 %, по расчету – 16...24 %. Такое несоответствие можно объяснить сравнительно высокими теплотериями в экспериментальной установке по сравнению с крупными промышленными образцами [3]. На эффективность процесса значительно влияют климатические условия [2]. Установка предназначена для сбраживания навозной жижи и может перерабатывать навоз крупного рогатого скота, свиней и (частично) куриный помет. Обычно исходную смесь готовят из жидкого навоза крупного рогатого скота и свинец в равных долях с содержанием сухого вещества соответственно 3,5 и 5 %. Биогазовый реактор рассчитан на рабочую температуру 35 °С при максимально допустимой загрузке. Давление в газовой камере реактора – 2,0...5,0 кПа. Он может работать в непрерывном и периодическом режимах. Промежуточное сжигание биогаза перед использованием не требуется, сжигают его без предварительной очистки. Теплоту от сжигания используют в водонагревательных автоматах, причем часть ее идет на подогрев субстрата в реакторе. Исходные данные приняли в соответствии с нормами на технологическое проектирование, согласно которым на ферме, где содержат 430 условных животных, выход экскрементов в сутки составляет 23,7 м³, общий выход стоков – 54,8 м³/сутки при влажности до 95 %. Техническими требованиями предусмотрено, что анаэробная переработка – поточный процесс с циклическим выполнением операций. Навоз из животноводческих помещений поступает в приемник очищенным от посторонних механических включений на отделителе производительностью 100 м³/ч.

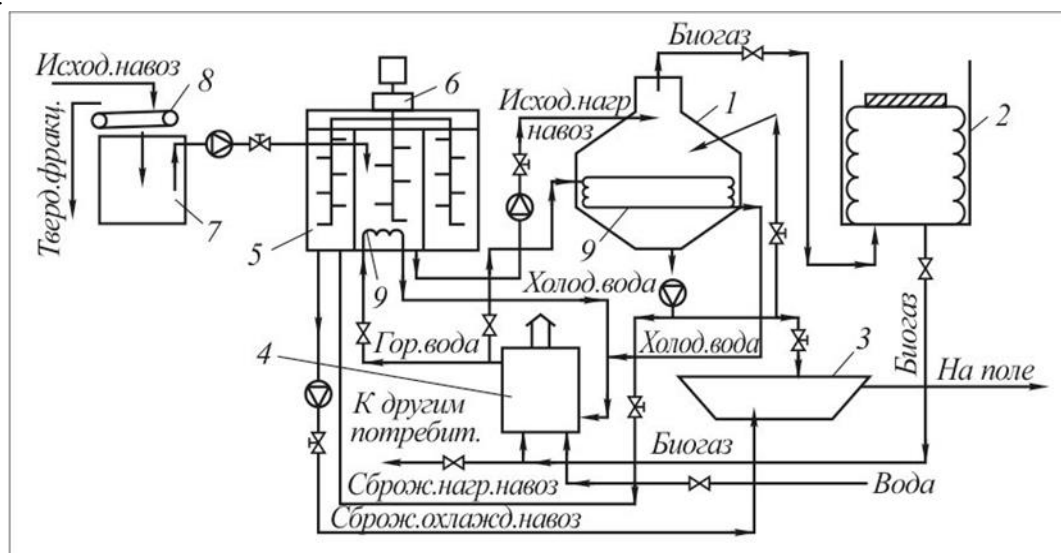


Рис. 1 – Схема биоэнергетической установки для фермы на 400 животных:
1 – метантенк; 2 – сухой газгольдер; 3 – навозохранилище; 4 – водонагреватель;
5 – емкость-теплообменник для предварительного нагрева навоза; 6 – мешалка;
7 – накопитель исходного навоза; 8 – отделитель посторонних включений;
9 – теплообменник

Общее количество навоза для ежесуточного сбраживания $G_n = 35,48$ м³ при влажности 92 %. Сбраживание происходит на мезофильном режиме (33...35 °С). Постоянная температура поддерживается с помощью водяной системы отопления межстенного

пространства метантенка. Таким образом, компенсируются и теплопотери сквозь ограждающие его поверхности. Из метантенка биогаз направляется в сухой газгольдер объемом 600 м³, откуда по мере необходимости используются для подогрева воды и на другие нужды фермы. Сброженная масса через шлюзовую камеру поступает в хранилище и в теплообменник для подогрева исходной массы.

Навоз самотеком поступает в приемный резервуар насосной станции, откуда по мере накопления фекальными насосами направляется в резервуары для разложения [4]. В статье описан метод переработки отходов животноводческих ферм, для обеспечения экологичности. Метод заключается в метановом сбраживании навоза в сочетании с переработкой выделяющегося при этом биогаза в кормовой белок. В итоге происходит получение как энергии, так и кормовых добавок. Протекание микробного синтеза в аппаратах разного масштаба в пересчете на единицу объема количества получаемого продукта (биомассы или продуктов метаболизма) будет одинаковым или почти одинаковым в аппаратах разного масштаба. Эта технология позволяет реализовать на животноводческом предприятии ускоренный цикл биоконверсии веществ параллельно традиционному пути их регенерации в растениеводстве, что обеспечивает реальные возможности создания животноводческих комплексов в виде безотходных производств, удовлетворяющих всем требованиям экономики и охраны окружающей среды.

Список литературы

1. *Афанасьев, В.Н.* Состояние и основные пути улучшения экологической ситуации. // Охрана окружающей среды и «органическое» сельское хозяйство. Сб. докладов научно-производственного экологического семинара. Под редакцией В.Н. Афанасьева. - СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2005. - С. 5-14
2. *Аксенов, В.В., Резепин, А.И.* Ресурсосберегающая технология переработки отходов АПК // Ползуновский вестник. – 2011. №2/1. -С. 76-80
3. *Брюханов, А.Ю., Субботин, И.А.* Автоматизированное проектирование технологических линий приготовления органических удобрений на основе навоза и помета // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2009. Т. 20. №. 3.
4. *Кокиева, Г.Е.* Исследование аппарата для культивирования микроорганизмов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 123-125.
5. *Кокиева Г.Е.* Кормовые дрожжи как биологически активная добавка в кормлении сельскохозяйственных животных // Матер. регион. науч.- практ. конф. «Пищевые технологии, качество и безопасность продуктов». – Иркутск: Изд-во ИТУ, 2006. С.42-47.

05.13.06

Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, Т.М. Пудова канд. биол. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УБОЯ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Убой и первичная обработка сельскохозяйственных животных в нашей стране, в основном, осуществляются на мясокомбинатах, хладобойнях, скотобойных пунктах и оборудованных площадках животноводческих хозяйств. Кроме того, перерабатывают животных в производственных цехах животноводческих комплексов, коровниках, свинарниках, кошарах, загонах и пастбищах. Широко распространены подворный убой и переработка животных. Однако все перечисленные дополнительные места неприемлемы, так как они не отвечают элементарным ветеринарно-санитарным требованиям. К сожалению, в неприиспособленных местах перерабатывается сегодня около 10% убойных животных. Естественно, все это ведёт к росту инфекционных заболеваний и существенному ухудшению качества продукции. В месте с тем, в настоящее время мясо является основным источником белков, животных жиров, минеральных и других веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности человеческого организма. Особенно велика роль мяса как главного и практически единственного источника вышеуказанных веществ в районах с суровым и неблагоприятным климатом, не пригодным для растениеводства, в частности Крайнего Севера. Однако качество мяса, его пищевая ценность и технологические свойства находятся в прямой и непосредственной зависимости от применяемых способов убоя и первичной переработки убойных животных. Как уже указывалось, и в нашей стране, и за рубежом, основная масса сельскохозяйственных животных забивается и перерабатывается на мясокомбинатах или стационарных скотобойных пунктах. В настоящее время разработан ряд проектов таких пунктов производительностью 5-7-10-25 голов в смену.

Ключевые слова: производительность, скотобойный пункт, способ убоя, технологические свойства, ветеринарно-санитарный контроль, продукция, убойные животные, животноводческий комплекс, подворный убой.

Независимо от проекта к скотобойному пункту предъявляются единые требования. Он должен обеспечить ветеринарно-санитарный контроль при убое животных и ветеринарно-санитарную экспертизу мясопродуктов, предотвращать выпуск недоброкачественной продукции, охранять здоровье людей, предупреждать распространение заболеваний среди животных[1,5].

Из механизированных скотобойных пунктов наибольшее распространение получили скотобойни производительностью 10 голов в смену. Скотобойные пункты производительностью 10 голов за смену строятся по трем проектам: с колбасным цехом и холодильником на 10 т; с колбасным цехом и холодильником емкостью 20 и без колбасного цеха с холодильником на 10 т.

Физическая усталость, страх, возбуждение и прочие факторы, неизбежно сопутствующие любой перевозке, вызывают усиленный приток крови к мышцам и задерживают ее в сосудах, что приводит к неполному обескровливанию при убое [3]. Плохо обескровленное мясо имеет неприятный темный цвет с синеватым оттенком, низкое качество при переработке и является хорошей питательной средой для развития различной, в том числе и гнилостной микрофлоры [2]. Территорию убойного пункта огораживают изгородью, исключающей возможность

проникновения животных. При въезде и выезде на территорию бойни устраиваются дезинфекционные барьеры заправленные дезинфицирующим раствором. Пункт обеспечивают водой питьевого качества из водопроводной сети или артезианских колодцев в достаточном количестве. Во дворе устраивают площадку с привязью или расколами, где животных передерживают и подвергают предубойному ветеринарному осмотру. Для сбора навоза и каныги должны быть устроены плотные герметичные контейнеры с хорошо закрывающимися крышками. Содержимое жижеприемников обезвреживают на месте до вывоза путем хлорирования, а навоз и каныгу - биотермическим способом на месте вывозки. Животные при этом меньше подвергаются стрессом. При помощи мобильного убойной площадки можно планировать сроки убоя КРС и лошадей в отдалённых улусах удобные фермерским хозяйствам [1,4]. На рис.1 представлена схема предубойного содержания животных (для приёма и содержания животных перед убоем, для ветеринарного осмотра животных, а также приёмка и содержание животных подозрительных острозаразными болезнями). На рисунке 2 представлена конструкция скотобойного пункта.

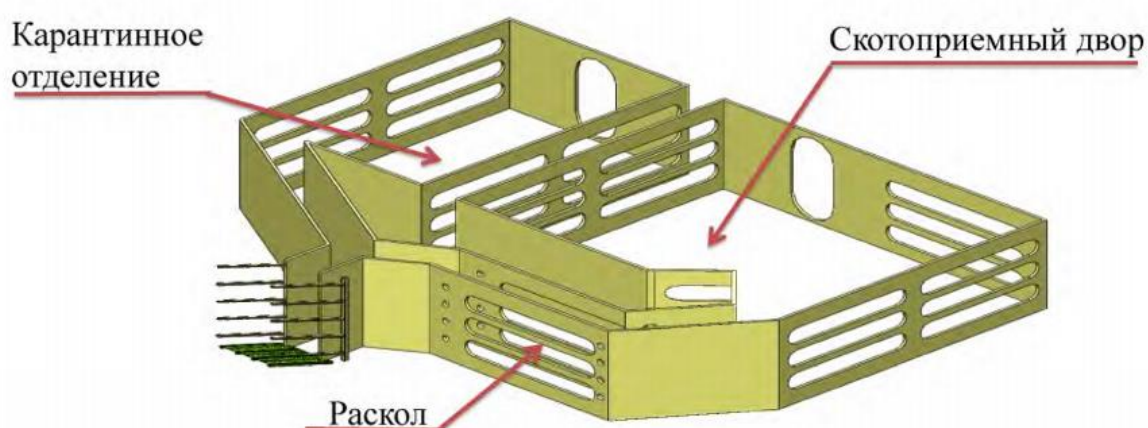


Рис.1 – Схема расположения предубойного содержания животных

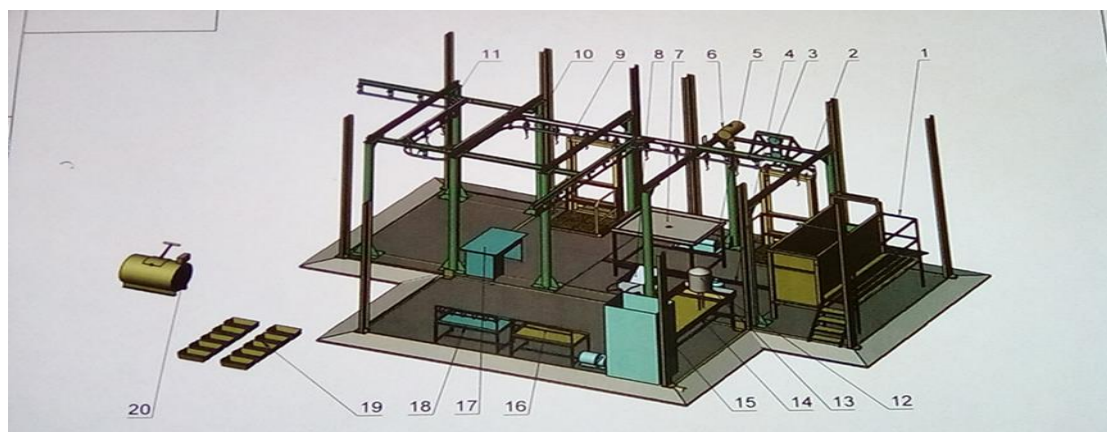


Рис. 2 – Конструкция скотобойного пункта

1 - подъёмно-опускная площадка забеловки; 2 - кран; 3 - тельфер для подъёма животного; 4 - жёлоб для сбора крови; 5 - устройство для снятия шкур; 6 - электрическая мини таль; 7 - стол нутровочный; 8 - тележка-чан; 9 - подъёмно-опускная площадка для распиловки; 10 - весы монорельсовые электронные; 11 - полосовой подвесной путь; 12 - ёмкость для сбора крови; 13 - бойлер для подготовки горячей воды; 14 - ванна для мойки кишок; 15 - ёмкость для водоснабжения; 16 - стол технологический; 17 - рабочее место ветеринара; 18 - стол для осмотра ливера; 19 - ёмкости для брикетирования каныги; 20 - крематор для сжигания отходов.

Согласно проекту все производственные подразделения убойного пункта располагаются в одном корпусе. После оглушения животных на подвесной путь поднимают с помощью электротельфера. Забеловку туш ведут с площадок. Туши обрабатывают в вертикальном положении на подвесном пути. Шкуру снимают с помощью электрической лебедки-тельфера, нутровку производят над столом. Туши отправляют на участки забеловки, где забеловка выполняется в области головы, шеи конечности, лопаток, грудной и брюшной частей туши. Туши распиливают электропилой и подают по подвесному пути в холодильник. Кровь собирают в приемок и используют для выработки вареных кормов. Мясо хранят в двух холодильных камерах. Туша поступает к устройству для механической съёмки шкуры, затем при помощи электрического миниталья-6 туша на отправляется на стол нутровки 7 и после нутровки внутренние органы помещают в тележки-чан 8, после нутровки по подъёмно опускной площадке(9) тушу отправляют на распиловку. Далее полутуши взвешивают при помощи монорельсовых электронных весов (10) на полосовой подвесной путь (11), далее мясо отправляют на охлаждение. Дополнительно универсально-мобильная площадка снабжена следующими инвентарями: емкость для сбора крови (12), ванна бойлер для подготовки горячей воды (13), ванна для мойки кишок(14), емкость для водоснабжения (15), стол технологический (16), рабочее место ветеринара (17), стол для осмотра ливера (18), ёмкости для брикетирования каныги (19), крематор для сжигания отходов (20).

Универсальная мобильная убойная площадка позволяет в короткие сроки демонтировать ее для перевозки т.к. большинство узлов смонтировано на анкерных болтах, состоит из легких строительных конструкций. В условиях крайнего Севера данная мобильная убойная установка является созданием дополнительных рабочих мест.

Список литературы

1. Родионова Е.А., Палий А.П., Оценка качества питьевой воды централизованной системы водоснабжения в условиях мясоперерабатывающего предприятия //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017 - № 1 (147). С. 58-62.
2. Максимов Д.А., Плешинский П.И., Теуважеев А.В., Панков В.В. Электрофизические методы обработки крови убойных животных. Мясная индустрия. 2013. № 4. С. 40-43.
3. Галиев И.Р. Необходимость модернизации пунктов забоя скота. Молодежь и наука. 2018. № 5. С. 91.
4. Серёгин И.Г., Глазкова И.В. Производственные основы первичной переработки крупного рогатого скота. Мясные технологии. 2015. № 2 (146). С. 17-23.
5. Корешков В.Н., Лапшин В.А., Хвыля С.И., Хохлова Л.М. О контроле холодильной цепи производственного мясоперерабатывающего предприятия. Холодильная техника. 2018. № 1. С. 38-41.

05.13.06

Н.А. Кошелева канд. техн. наук, Г.С. Сероваев, Г.Н. Гусев канд. техн. наук

Институт механики сплошных сред УрО РАН –
филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН,
отдел комплексных проблем механики,
Пермь, kosheleva.n@icmm.ru

ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВСТРОЕННЫХ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ БЕТОННЫЙ ОБРАЗЕЦ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ

В работе приводится экспериментальное исследование работоспособности и надежности показаний, встроенных в цилиндрический бетонный образец, датчиков на основе волоконной брэгговской решетки под действием внешней одноосной сжимающей нагрузки. Показания встроенных волоконно-оптических датчиков деформаций сравниваются с традиционными тензодатчиками, приклеенными на поверхность образца.

Ключевые слова: *встроенные волоконно-оптические датчики, волоконная брэгговская решетка, бетон.*

Бетонные сооружения окружают нас повсюду: здания, дороги, взлетно-посадочные полосы, мосты большой протяженности, плотины, туннели, системы канализаций и т.д. [1]. Несмотря на то, что бетон сам по себе является очень прочным строительным материалом, зачастую данные объекты существуют и функционируют под действием суровых условий окружающей среды и подвержены воздействию ветров, влажности, резких изменений температуры, а также особых нагрузок типа землетрясений [2]. Данные факторы могут привести к ухудшению структурных характеристик и, как следствие, потере несущей способности конструкции. Решения о том, ремонтировать, модернизировать, сносить или восстанавливать бетонные конструкции, основываются на тщательной оценке текущего механического состояния.

Среди многообразия датчиков [3–7], которые позволяют получать точную и достоверную информацию о состоянии наблюдаемых конструкций, волоконно-оптические датчики деформаций (ВОДД) [8] обладают рядом отличительных преимуществ по сравнению со стандартными чувствительными элементами. В настоящее время разработаны различные схемы применения ВОДД на основе волоконной брэгговской решетки (ВБР) как для поверхностного монтажа, так и для встраивания в материал конструкции, которые могут использоваться для мониторинга состояния бетонных [9–13] сооружений в режиме реального времени. Кроме того, ВОДД обладают возможностью мультиплексирования, что позволяет увеличить эффективность оптоволоконной линии.

В литературе существует большое количество исследований, связанных с измерением различных параметров (внутренняя температура, влажность и т.д.) вновь залитого бетона. Оценка данных параметров важна для контроля скорости отверждения и высыхания бетона, а также для снижения уровня технологических деформаций [14]. В работе [15] описана практическая проблема, возникающая при укладке бетонных полов, связанная с ранним растрескиванием из-за усадки молодого бетона. Авторами было предложено внедрить ВОДД на брэгговских решетках в образцы из бетонной смеси для регистрации усадки при различных условиях сушки образца. В работах [16–18] сообщается о применении датчиков на основе ВБР для регистрации температуры, деформации и их эволюции на ранних этапах формирования бетона.

В данной работе авторами исследуется работоспособность ВОДД, внедренных в бетонный цилиндрический образец, под действием сжимающей нагрузки. Процесс изготовления образца, внедрения ВОДД и регистрация технологических деформаций в процессе формирования бетона описаны в работе [19]. Отличительной особенностью данной

экспериментальной работы является то, что ВОДД были внедрены без какой-либо дополнительной защитной оболочки, не считая стандартное полиимидное покрытие. Для верификации показаний внедренных ВОДД использовались тензорезисторы, расположенные на поверхности бетонного цилиндрического образца.

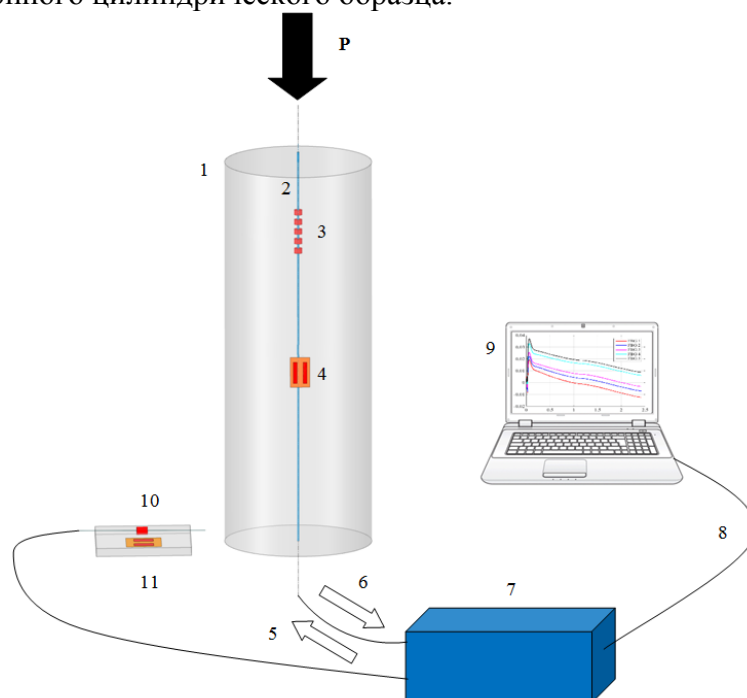


Рис.1 – Схема регистрации данных в режиме реального времени

Экспериментальная схема регистрации данных в режиме реального времени представлена на рисунке 1, где: 1 – образец, 2 – оптическое волокно с нанесенными 3 – волоконными брэгговскими решетками (ВБР), 4 – традиционные резистивные датчики деформаций, собранные по схеме «полный мост Уитстона» с 11 – термокомпенсационными датчиками на отдельно вынесенном элементе, 5 – широкополосный оптический сигнал, 6 – отраженный оптический сигнал, 7 – интеррогатор, 8 – вывод на ПК, 9 – ПК, 10 – единичная ВБР, используемая для термокомпенсации показаний встроенных ВОДД, P – прикладываемое внешнее нагружение (сжатие).

В ходе эксперимента осуществлялось поэтапное нагружение образца. На каждом этапе нагружения была реализована выдержка во времени при постоянном усилии (рис.2), для дальнейшего сопоставления показаний при данном усилии различных датчиков.

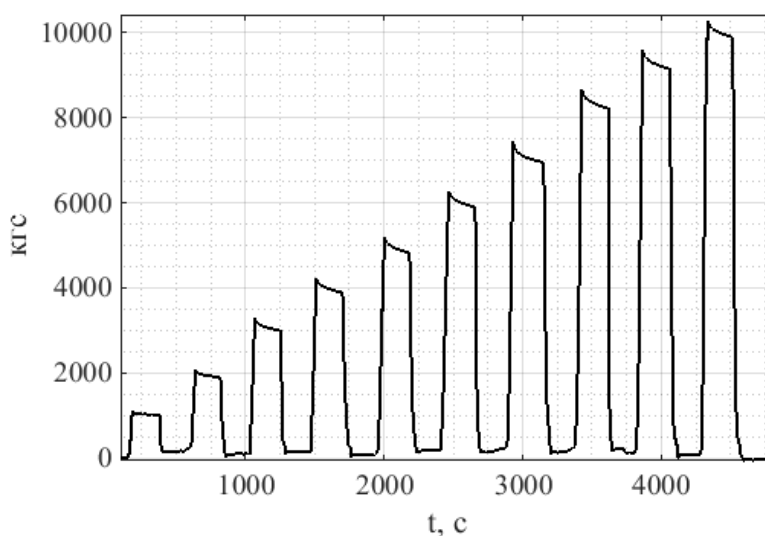


Рис. 2 – Зависимость силы от времени при одноосном нагружении цилиндрического образца

На рисунке 3 представлена реакция внедренных ВБР датчиков на приложенную к цилиндрическому образцу нагрузку в результате одноосного поэтапного сжатия. Сжимающая нагрузка прикладывалась в диапазоне от 0 до 10000 кгс. Стоит отметить, что деформации, измеренные при помощи ВБР, представленные на рис. 3, приведены с учетом термокомпенсации. Так же представлены данные, полученные с внешнего тензорезистивного датчика.

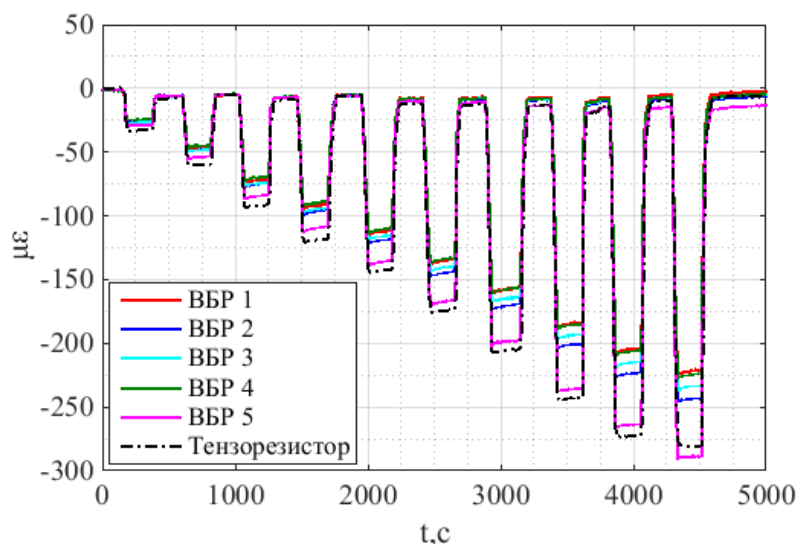


Рис. 3 – Реакция датчиков при одноосном нагружении цилиндрического образца

На рисунке 4 представлены значения деформаций, измеренные внедренными ВОДД и резистивным тензодатчиком в моментах, где осуществлялась выдержка по силе.

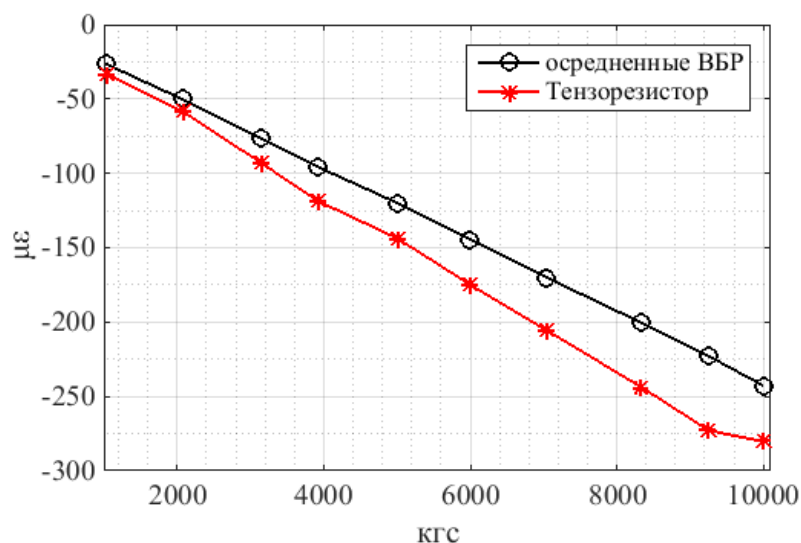


Рис. 4 – Осредненные значения по всем ВБР и значения с внешнего резистивного тензодатчика

Так как в эксперименте не удалось обеспечить постоянство нагрузки на каждой ступени нагружения, была проведена синхронизация по времени показаний всех датчиков. На графике представлены осредненные значения по всем ВБР. Разница между осредненными показаниями внедренных ВБР датчиков с внешним резистивным тензодатчиком не превышает 20%.

Данные, полученные в ходе проведенных экспериментальных работ, демонстрируют работоспособность ВОДД без дополнительной защитной оболочки, не считая стандартную полиимидную, встроенных в бетонные конструкции, под действием сжимающей нагрузки. Был проведен сравнительный анализ данных, полученных от встроенных в бетонный образец ВОДД и от резистивного тензодатчика, наклеенного на поверхность образца. Разница между

осредненными показаниями внедренных ВБР датчиков с внешним резистивным тензодатчиком не превышает 20%. Таким образом, ВОДД, встроенные в бетонные конструкции, позволяют реализовать методы структурного мониторинга бетонных объектов, а также лучше изучить внутренние механизмы, происходящие в данных объектах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (№ МК-2401.2019.1).

Список литературы

1. Taheri S. A review on five key sensors for monitoring of concrete structures // Constr. Build. Mater. – 2019. – Vol. 204. P. 492–509.
2. Wang H., Xiang P., Jiang L. Strain transfer theory of industrialized optical fiber-based sensors in civil engineering: A review on measurement accuracy, design and calibration // Sensors Actuators A Phys. 2019. Vol. 285. P. 414–426.
3. Stepinski T., Uhl T., Staszewski W. Advanced Structural Damage Detection: From Theory to Engineering Applications // Advanced Structural Damage Detection: From Theory to Engineering Applications. 2013. 352 p.
4. Verma S.K., Bhadauria S.S., Akhtar S. Review of Nondestructive Testing Methods for Condition Monitoring of Concrete Structures // J. Constr. Eng. 2013. № 4. P. 1–11.
5. Fan W. et al. Vibration-based damage identification methods: A review and comparative study // Struct. Heal. Monit. 2011. Vol. 10, № 1. P. 83–111.
6. Quaranta G., Carboni B., Lacarbonara W. Damage detection by modal curvatures: numerical issues // J. Vib. Control. 2016. Vol. 22, № 7. P. 1913–1927.
7. Michaels J.E. Detection, localization and characterization of damage in plates with an in situ array of spatially distributed ultrasonic sensors // Smart Mater. Struct. 2008. № 17. P. 1–15.
8. Leung C.K. Fiber optic sensors in concrete: the future? // NDT E Int. 2001. Vol. 34, № 2. P. 85–94.
9. Tennyson R.C. et al. Structural health monitoring of innovative bridges in Canada with fiber optic sensors // Smart Mater. Struct. IOP Publishing, 2001. Vol. 10, № 3. P. 560–573.
10. Lin Y. Bin et al. Online monitoring of highway bridge construction using fiber Bragg grating sensors // Smart Mater. Struct. {IOP} Publishing, 2005. Vol. 14, № 5. P. 1075–1082.
11. Rodrigues C. et al. Development of a long-term monitoring system based on FBG sensors applied to concrete bridges // Eng. Struct. 2010. Vol. 32, № 8. P. 1993–2002.
12. Khadour A., Waeytens J. Monitoring of concrete structures with optical fiber sensors // Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures. Elsevier, 2018. P. 97–121.
13. Hong C.Y. et al. Application of FBG sensors for geotechnical health monitoring, a review of sensor design, implementation methods and packaging techniques // Sensors and Actuators, A: Physical. 2016. Vol. 244. P. 184–197.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. – 4-е изд. – М.: АСВ, 2007. – 526 с.
15. Slowik V., Schlattner E., Klink T. Experimental investigation into early age shrinkage of cement paste by using fibre Bragg gratings // Cem. Concr. Compos. 2004. Vol. 26, № 5. P. 473–479.
16. Wong A.C.L. et al. Experimental Investigation of Drying Shrinkage and Creep of Concrete Using Fibre-Optic Sensors // Adv. Struct. Eng. 2007. Vol. 10, № 3. P. 219–228.
17. Yun Y.-W., Jang I.-Y. Research on early age deformation of high performance concrete by fiber Bragg grating sensor // KSCE J. Civ. Eng. 2008. Vol. 12, № 5. P. 323–328.
18. Yun Y.-W., Jang I.-Y., Wang W.-W. Early-age autogenous shrinkage of high-performance concrete columns by embedded Fiber Bragg-Grating sensor // KSCE J. Civ. Eng. 2012. Vol. 16, № 6. P. 967–973.
19. Kosheleva N., Serovaev G., Gusev G. Process-induced strain measurement by fiber optic sensors in a cylindrical concrete sample // AIP Conference Proceedings 2216. 2020. P. 040011.

05.13.06

**А.В. Милов, В.С. Тынченко канд. техн. наук, С.О. Курашкин,
А.В. Мурыгин д-р техн. наук, В.Е. Петренко**

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, scorpion_ser@mail.ru

ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВВОДА-ВЫВОДА ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ

Статья посвящена обзору подходов, используемых для моделирования тепловых процессов, происходящих при электронно-лучевой сварке тонкостенных изделий с использованием программных комплексов: ANSYS, Comsol Multiphysics, Abaqus и NX Nastran.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, имитационное моделирование, электронный лучок, оптимизация, математические модели, ввод-вывод электронного луча.

Введение

Процессы, на которых основана электронно-лучевая сварка (ЭЛС), имеют высокую сложность. В силу чего модели расчета параметров сварных швов, полученные различными исследовательскими группами, могут быть использованы лишь для приблизительных расчетов [1]. Моделирование технологического процесса электронно-лучевой сварки в различных режимах с различными материалами соединяемых элементов, является одним из наиболее распространенных методов повышения качества технологического процесса [2].

На сегодняшний день в большинстве случаев выбор оптимальных значений технологических параметров осуществляется путем эмпирического подбора режимов сварки на контрольных образцах с разрезкой, приготовлением шлифов и анализом поперечного сечения сварного шва. Воспроизводимость при таком способе решения задачи обеспечивается только на конкретной установке электронно-лучевой сварки и обеспечивается воспроизводимость только до момента проведения регламентных работ, примером которых может служить смена катода [3]. Недостатки существующих тепловых моделей технологического процесса электронно-лучевой сварки требуют совершенствования методов расчета и компьютерного моделирования, а также модернизации экспериментальных методик контроля и управления технологическим процессом электронно-лучевой сварки.

В существующих математических моделях стыку сварного соединения уделяется не так много внимания, в связи с этим данный вопрос остается малоизученным. Тем не менее, это место подвергается контролю качества особенно в процессе сварки тонкостенных соединений [4]. Для построения адекватных математических моделей технологического процесса электронно-лучевой сварки необходимо использовать аппарат теории тепловых процессов, а в частности теории сварочных процессов [5].

Обзор современных подходов к моделированию

Широкое применение, в частности, технология электронно-лучевой сварки нашла в области аэрокосмической промышленности [6]. У всех реализаций есть как свои достоинства, так и недостатки. Сложные условия эксплуатации продукции аэрокосмического назначения предъявляют строгие требования к качеству сварного соединения [7].

Предложена качественная модель, описывающая электронно-лучевой нагрев стыка двух кварцевых трубок, позволяющая оценить параметры области нагрева при сварке кварца. В работе [8], авторами приведены результаты математического моделирования температурных полей при электронно-лучевой сварке методом функций Грина.

Часть исследователей использует численные методы для моделирования технологического процесса электронно-лучевой сварки [9]. Некоторые исследователи проводят исследования по влиянию на качество процесса электронно-лучевой сварки различных внешних и внутренних факторов [9]. Некоторые группы исследователей используют классический аппарат тепловых моделей. И, разумеется, общим направлением для всех исследований является моделирование с целью прогнозирования параметров технологического процесса и оптимизации управления технологическим процессом электронно-лучевой сварки [7-9].

Главная проблема электронно-лучевой сварки – получение воспроизводимого поперечного сечения сварного шва. Как видно из обзора источников, в настоящее время в большинстве случаев это достигается путем эмпирического подбора режимов сварки на контрольных образцах. При этом воспроизводимость обеспечивается только на конкретной сварочной установке и до момента проведения регламентных работ (например, смены катода).

Недостатки существующих тепловых моделей требуют совершенствования расчетных подходов и компьютерного моделирования, а также развития экспериментальных методик контроля и управления процессом ЭЛС. Месту ввода и вывода электронного луча в исследованиях уделяется не так много внимания, в связи с этим данный вопрос остается малоизученным.

Разработка математических моделей режимов ввода-вывода электронного луча, их совместное использование в качестве обоснования выбора режимов последних позволит обоснованно подходить к вопросу оптимального формирования шва на рассматриваемом участке.

Выбор программных средств моделирования

В качестве программных средств верификации разрабатываемых математических моделей технологического процесса электронно-лучевой сварки целесообразно использовать программные системы на основе методы конечных элементов. В рамках данной работы предложены к рассмотрению следующие программные системы конечно-элементного анализа: ANSYS, COMSOL Multiphysics, Abaqus, NX Nastran.

Сравнительный анализ систем верификации моделей представлен в таблице ниже. Соответствие критерию выставляется в рамках от 1 до 5 баллов, где 1 – наименее соответствует требованиям, 5 – наиболее соответствует требованиям.

Таблица – Сравнительный анализ систем верификации моделей ввода-вывода луча в процессе электронно-лучевой сварки

	ANSYS	Comsol	Abaqus	NX Nastran
Расчетный модуль для тепловых процессов	5	5	5	5
Стоимость	3	5	3	3
Академическая версия	5	4	1	4
Кроссплатформенность	5	5	5	1
Удобство графического интерфейса	5	5	3	3

Как видно из таблицы, в рамках данной работы наиболее подходящими вариантами программных средств верификации математических моделей ввода-вывода луча в процессе электронно-лучевой сварки являются программные пакеты ANSYS и Comsol Multiphysics.

Заключение

В статье рассмотрены подходы, используемые для моделирования тепловых процессов, происходящих при электронно-лучевой сварке тонкостенных изделий.

Из существующих современных программных комплексов, используемых для реализации моделирования методом экспертной оценки, были выбраны два наиболее подходящих по критериям. Результаты исследования математических моделей, реализованных в выбранном программном комплексе, позволят не только составить представление о тепловом процессе, протекающем при электронно-лучевой сварке тонкостенных изделий как таковых, но и сформировать математическое обоснование для контроля и принятия технологических решений.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Краевого фонда науки в рамках научного проекта № 19-48-240007 «Математическое и алгоритмическое обеспечение процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций аэрокосмического назначения».

Список литературы

1. Саломатова Е.С. Электронно-лучевая сварка—от изобретения до наших дней // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – №. 1. – С.74-87.
2. Yunlian Q., Ju D., Quan H., Liying Z. Electron beam welding, laser beam welding and gas tungsten arc welding of titanium sheet //Materials Science and Engineering: A. – 2000. – Vol. 280. – No. 1. – P.177-181.
3. Шаронов Н.И. Применение электронно-лучевой сварки в турбостроении //Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2010. – №. 3(106). – С.170-175.
4. Ластовиця В.Н., Новокрещенов В.В., Родякина Р.В. Использование электронно-лучевой сварки для создания термоэмиссионных преобразователей (ТЭП) из монокристаллов вольфрама //Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №. 3(16). – С.27-35.
5. Младенов Г., Колева Е., Бельский В.Я., Трушников Д.Н. Моделирование и оптимизация электронно-лучевой сварки сталей //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – №. 4. – С.7-21.
6. Бельский В.Я., Трушников Д.Н., Пискунов А.Л., Лялин А.Н. Динамическая модель электронно-лучевой сварки со сквозным проплавлением //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – №. 3. – С.72-84.
7. Саломатова Е.С., Трушников Д.Н., Цаплин А.И. Моделирование процессов испарения при электронно-лучевой сварке с динамическим позиционированием электронного пучка //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – №. 6-2. – С.124-133.
8. Ольшанская Т.В., Федосеева Е.М., Колева Е.Г. Построение тепловых моделей при электронно-лучевой сварке методом функций Грина //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – №. 3. – С.49-74.
9. Пермяков Г.Л., Ольшанская Т.В., Бельский В.Я., Трушников Д. Моделирование электронно-лучевой сварки для определения параметров сварных соединений разнородных материалов //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – №. 4. – С.48-58.

05.13.06

Т.А. Чуваткина, А.В. Агапов, Д.В. Камчатов, Е.Ю. Королев

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, tanya.alex.ch@gmail.com, vkagapov@yandex.ru,

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ

В данной работе представлены результаты разработки программного кода, предназначенного для автоматизации процесса изготовления хризотилцементной суспензии. Представленная программа позволяет увеличить производительность процесса приготовления хризотилцементной суспензии и обеспечить минимальное вмешательство оператора и тем самым исключает возможность возникновения ошибки оператора способной повлиять на процессе приготовления.

Ключевые слова: суспензия, программный код, автоматизация, процесс, программа, хризотилцемент.

Промышленная автоматизация влечет за собой целую последовательность изменений в технологических процессах, которые способствуют существенному повышению производительности труда, помогают оптимизировать весь процесс и улучшить качество продукции. Это, в свою очередь, приводит к экономии материальных активов, фонда заработной платы и налоговых платежей и т.д. Кроме этого, системы автоматизации технологических процессов снижают вероятность человеческой ошибки и возможности брака [1]. Автоматизация процесса производства плоских хризотилцементных листов является важным аспектом повышения производительности труда, качества продукции и конкурентоспособности выпускаемой продукции на предприятиях.

Производство хризотилцементных листов осуществляется по технологии изложенной в [2]. В данной технологии регламентируются операции приготовления асбестоцементной суспензии, оборудование и основные условия выполнения операций приготовления, а также допустимые нормативы на технологические параметры.

На основе анализа всего выше перечисленного была разработана программа для автоматизации процесса приготовления асбестоцементной суспензии. В качестве программных сред программирования были выбраны программные комплексы CoDeSys и MasterSCADA.

Программный комплекс CODESYS – это инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации со средой разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров с несколькими языками программирования [3].

В свою очередь программный комплекс MasterSCADA представляет собой программный пакет для проектирования систем диспетчерского управления и сбора данных, предназначенный для сбора, архивирования, отображения данных, а также для управления различными технологическими процессами, позволяющий создавать единый комплексный проект автоматизации, включающий все компьютеры и все контроллеры, конфигурирующиеся в едином проекте [4].

С целью автоматизации процесса приготовления хризотилцементной суспензии был разработан программный код, который предполагает минимальное вмешательство оператора и тем самым облегчает его работу. Ниже приведена часть программного кода, предназначенного для автоматического выполнения основных операций приготовления суспензии.

Приготовление асбестоцементной суспензии осуществляется в несколько этапов.

Этап первый - готовность к началу дозирования хризотила (рис. 1). Программа выполняет проверку на готовность дозирования и если все условия соблюдены, то выполняется следующий шаг.

```
(*****)
(*****Дозировка СМА-229*****)
(*****)

(*Готовность к дозированию*)
LD   rdy_sma
ANDN rdy_f2
ANDN step_sma2
ANDN step_sma3
ANDN step_sma4
ANDN step_sma5
ANDN step_sma6
ANDN Time_sma2.Q
ANDN Time_sma3.Q
S    start_sma229
S    rdy_tr_sma229
```

Рис. 1 – Готовность к началу дозирования хризотила

Этап второй – процесс дозирование хризотила (рис. 2). Программа выполняет точное дозирование хризотила на весовой дозатор. На данном этапе происходит сравнение заданного веса с показанием веса на весовом дозаторе. Осуществляется грубое и точное дозирование путем изменения частоты двигателя, приводящего в крутящий момент шнека.

```
(*****)
(* Старт дозирования сма-229*)
(*****)
LD   start_sma229
ST   Step_sma1
JMPCN met_sma0

(*БУНКЕР 1†)

(* Точно*)
LD   Tenso1
GT   zad_ves_sma1
JMPC met_sma1
LD   Freq_sma_speed_1_slow
ST   Speed_FU1
LD   TRUE
AND   Stv1_open
ST   Start_FU1

(*Грубо*)
LD   Tenso1
ADD   7.0
GT   zad_ves_sma1
JMPC met_sma2
LD   Freq_sma_speed_1_fast
ST   Speed_FU1
LD   TRUE
AND   Stv1_open
ST   Start_FU1
JMP   met_sma2

(*Вес набран*)
met_sma1:LD   FALSE
ST   Start_FU1
LD   0
ST   Speed_FU1

met_sma2:LD   Tenso1
GT   zad_ves_sma1
AND   start_sma229
ST   ves_nabran_sma1
```

Рис. 2 – Процесс дозирование хризотила

Этап третий – автоматическое открытие и закрытие створок весового дозатора (рис. 3). По завершению набора заданного веса выполняется автоматическое открытие створок на весовом дозаторе. По открытию створки выполняется временная задержка для того что бы набранный вес успел высыпаться на транспортерную ленту и затем автоматически закрывается.

```

(* Открытие створок*)
LD met_rdy4
JMPCN met_st1
LD step_sma2
OR step2
AND Stv4_open
ST TIME_Start_Stv4_Open
CAL TIMER_Start_Stv4_Open(IN := TIME_Start_Stv4_Open, PT := T#4s)
LD TIMER_Start_Stv4_Open.Q
ST Start_Stv4_Open
met_st1:LD 0

LD Time_st
CAL Time_st(IN := ST_open_ok_rdy, PT := T#10s)
LD Time_st.Q
R Step_sma2
S step_sma3
R St1_Open_ok
R St2_Open_ok
R St3_Open_ok
R St4_Open_ok
R St5_Open_ok
R ST_open_ok_rdy

(* Пауза после открытия створок*)
st_sma3:LD step_sma3
CAL Time_sma1(IN := step_sma3, PT := T#30s)
LD Time_sma1.Q
R step_sma3
S step_sma4

(*Закрытие створок*)
LD met_rdy1
JMPCN met_st20
LD step_sma4
OR step4
AND Stv1_close
ST Start_Stv1_close
met_st20:LD 0

LD step_sma4
ANDN Stv1_close
ANDN Stv2_close
ANDN Stv3_close
ANDN Stv4_close
ANDN Stv5_close
R step_sma4

```

Рис. 3 – Автоматическое открытие и закрытие створок весового дозатора

Этап четвертый – включение транспортеров. Одновременно по завершению набора заданного веса происходит включение собирающего, наклонного и плужкового транспортеров. По этим транспортерам хризотил доставляется в бегуны. Время работы транспортеров задается оператором, после завершения указанного времени транспортеры отключаются.

Этап пятый – первичная обработка хризотила. На данном этапе программа проверяет наличие хризотила на ленте и открыта ли створка бегуна. После доставки хризотила в бегун, происходит обминание и увлажнение сырья. Время обминания и подачи воды задается оператором.

Этап шестой – гидравлическая распушка. После заданного оператором времени, происходит открытие скребка бегуна. Обработанный хризотил высыпается в гидропушитель наполненный водой из рекуператора. Затем включается распушка. Время распушки задается оператором.

Последующие шаги, предусмотренные разработанным программным кодом следующие: дозирование цемента; приготовление асбестоцементной суспензии; создание запаса и подача асбестоцементной суспензии.

В связи с невозможностью приведения всего кода с третьего шага программный код операций не приводятся в данной статье.

Общий вид разработанной программы для работы оператора представлен на рис. 4.

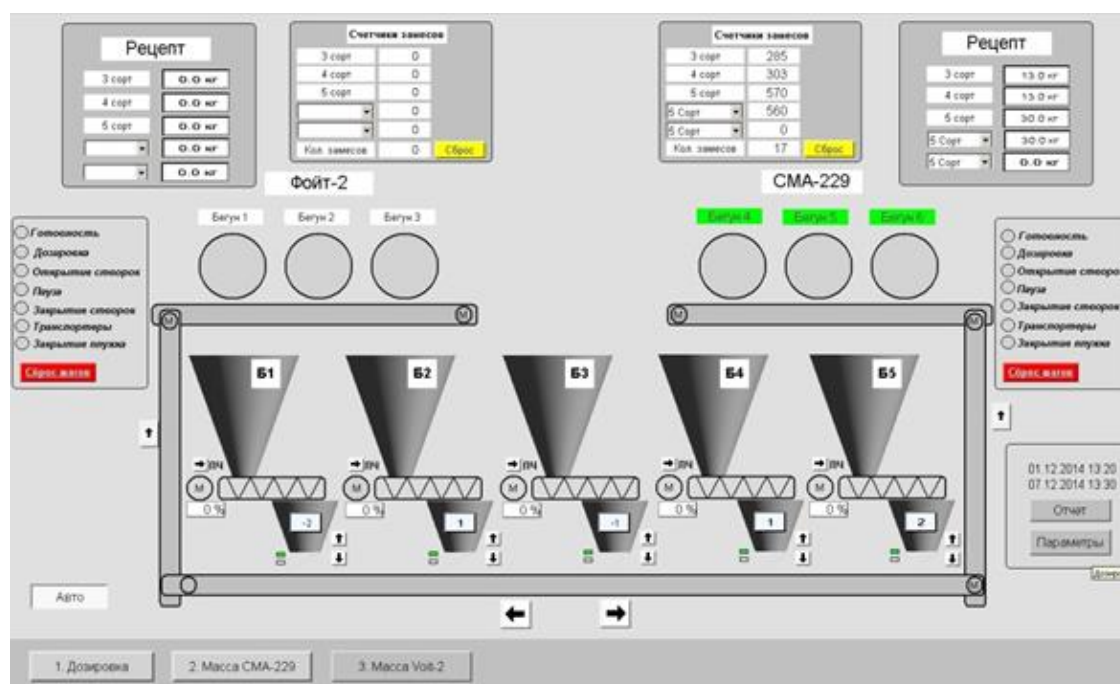


Рис. 4 – Общий вид окна для задания параметров приготовления суспензии оператором

Список литературы

1. Автоматизация в промышленности [Электронный ресурс] : CoDeSys – повседневный инструмент программиста ПЛК. – Режим доступа: <http://avtprom.ru/article/codesys---povsednevnyi-instrument>.
2. Берней, И.И. Технология асбестоцементных изделий / И.И. Берней. – М. : Высш. шк., 1977. – 229 с.
3. Википедия [Электронный ресурс] : CODESYS инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys>.
4. Интеллектуальные системы автоматизации и технологии [Электронный ресурс] : Интерфейс инструментальной системы MasterSCADA. – Режим доступа: <http://www.masterscada.ru/products/?category=1279>

05.13.06

С.А. Ягловский, С.В. Степанова, Д.Н. Юмшанов

Арктический государственный агротехнологический университет,
Инженерный факультет,
кафедра «Технологические системы АПК»,
Якутск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Сельское хозяйство Якутии – это уникальная, особо сложная производственная, социально-экономическая и экологическая система, в которой такие сельскохозяйственные отрасли, как животноводство и земледелие развиваются в чрезвычайно суровых природно-климатических условиях. Подбор или разработка подходящего корма или кормовых добавок как ничто другое оказывает большое влияние на рост, развитие и общую производительность животных. Поэтому многие специалисты сосредотачивают свое внимание на использовании и совершенствовании современных технологий в производстве кормов и кормовых добавок, которые будут обеспечивать сельскохозяйственных животных необходимыми витаминами и макро-, микроэлементами, что безусловно является актуальным для современного сельского хозяйства. В статье описано устройство ферментатора, также проведен анализ выполненных расчетов.

Ключевые слова: безотходная технология, кормление сельскохозяйственных животных, рацион кормов, продуктивность, питательные вещества, полноценные кормосмеси, развитие животноводства, потребность в кормовой базе.

В настоящее время в Республике Саха (Якутия) накоплен уникальный опыт ведения кормления сельскохозяйственных в экстремальных климатических условиях Севера. Динамика взаимодействия частицы фракционной смеси и лопасти мешалки представлена на рис. 2. На рис.1 приведена схема ферментатора.

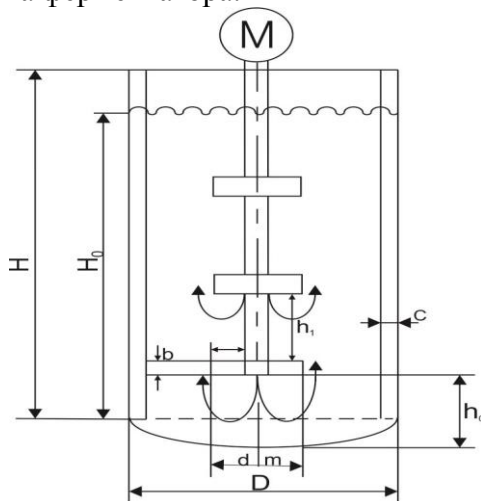


Рис. 1 – Ферментатор:

H – высота ферментатора; H_0 – высота уровня жидкости; h_1 – расстояние между мешалками; h_0 – расстояние от нижней мешалки до дна; d_m – диаметр мешалки; D – диаметр ферментатора; b – ширина лопасти мешалки; l – длина лопасти мешалки; c – ширина отбойника.

Экспериментальные данные аппроксимировались зависимостью:

$$W_{жп} = 0.21 \frac{V^{0.36} a^{0.68} \mu^{0.1} \rho^{0.12} \delta^{0.08} g^{0.34}}{D^{0.64} H^{0.4} \mu^{0.2}} \quad (1)$$

Пределы применимости полученного уравнения определяются следующими значениями критериев и симплексов геометрического подобия:

$$Re = 4.1 \cdot 10^2 \dots 2.5 \cdot 10^4; \quad Kv \cdot Re = 1.6 \cdot 10^3 \dots 4.8 \cdot 10^4; \\ \Gamma_g = 5.0 \dots 11.2; \quad \Gamma_H = 6.5 \dots 16.0; \quad \Gamma_h = 4.8 \dots 10.7;$$

Причем:

$$Re = 0.21(Kv Re)^{0.36} \cdot \left(\frac{Re^2}{We}\right)^{0.08} \cdot Ga^{0.34} \cdot \Gamma_0^{-0.64} \cdot \Gamma_H^{0.4} \cdot \Gamma_h^{0.1} \quad (2)$$

$$Kv \cdot Re = 25 \left(\frac{Re^2}{We}\right)^{0.4} \cdot Ga^{-0.02} \cdot \Gamma_g^{0.42} \cdot \Gamma_h^{0.2} \quad (3)$$

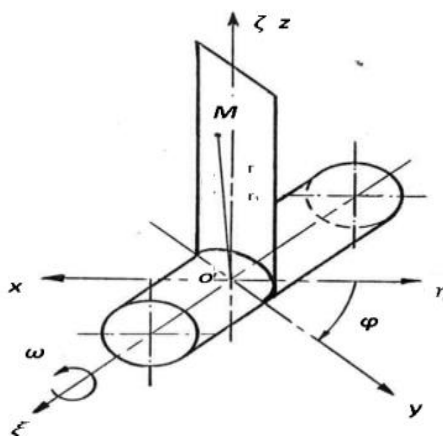


Рис. 2 – Схема динамического взаимодействия частицы с лопастью

На схеме лопастной мешалки обозначены системы координат: неподвижная - $K_0(0\xi\eta\zeta)$, связанная с осью вращения вала, и подвижная - $K_1(0xyz)$, связанная с лопастью. Движение частицы (M) является относительным в системе K_1 , перемещающейся с лопастью, и абсолютным к системе K_0 . Положение точки M определяется радиус-вектором ($\vec{r}$) в системе координат x, y, z :

$$\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z \quad (4)$$

Динамика взаимодействия частицы в точке соединения лопасти и вала определяется начальным временем отсчета (t). На частицу в точке соприкосновения с лопастью действуют силы: P - вес частицы; N - реакция поверхности лопасти; F_T - сила трения частицы по поверхности лопасти; Φ_K - сила инерции Кориолиса; Φ_u - относительная сила инерции[1,2].

Уравнение движения точки в начальных условиях для координат $y = 0$ и $\dot{y} = 0$ имеют вид [5,6]:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 m\ddot{x} = -f|N| \frac{\dot{x} + \omega \cos \varphi z}{\sqrt{(\dot{x} + \omega \cos \varphi z)^2 + (\dot{z} - \omega \cos \varphi x)^2}} + \\
 + m \omega^2 \cos^2 \varphi x - 2m \omega \cos \varphi \dot{z} \\
 |N| = -m \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi x + 2m \omega \sin \varphi \dot{z} \\
 m\ddot{z} = -mg - f|N| \frac{\dot{z} - \omega \cos \varphi x}{\sqrt{(\dot{x} + \omega \cos \varphi z)^2 + (\dot{z} - \omega \cos \varphi x)^2}} + \\
 + m \omega^2 z + 2m \omega \cos \varphi \dot{x} \\
 x = x_0; -r \leq x_0 \leq r \\
 z = \sqrt{r^2 - x_0^2 \cos^2 \varphi} \\
 \dot{x}_0 = \omega \cos \varphi z_0 \\
 \dot{z}_0 = -\omega \cos \varphi x_0
 \end{array} \right. \quad (5)$$

Система дифференциальных уравнений решилась методом Рунге-Кутты 4-го порядка с применением компьютерной системы математических расчетов. Результатом расчетов явились координаты частицы на лопасти $x(t)$ и $z(t)$, проекции скорости частицы $\frac{dx(t)}{dt}$ и $\frac{dz(t)}{dt}$ на координатные оси, абсолютная скорость $V(t)$ и путь движения $S(t)$. При этом варьировались значения угловой скорости (ω) вала, угла (φ) наклона лопасти к плоскости вращения и время (t) [2-4]. Анализ выполненных расчетов взаимодействия частицы с лопастью показал, что рациональная угловая скорость вращения вала лежит в пределах от $\omega = 6,28$ рад/с до $\omega = 10,47$ рад/с. В этом рабочем диапазоне частицы находятся

в контакте с лопастью при повороте вала до угла $\varphi = 200^\circ$, и в дальнейшем захватывается вращающейся средой. Приведенный режим обеспечивает качественное перемешивание твердой фракции с жидкой средой, и способствует эффективному растворению частиц [4,5]. Норма перевариваемого протеина на 1 кормовую единицу составляет 95 г при суточном удое до 10 кг молока и постепенно повышается до 105 – 110 г при удое 20 кг и более. В связи с уменьшением поголовья коров наблюдается сокращение валового и товарного выхода продукции в среднем на 10% (таблица 1).

Таблица 1 - Производственные показатели хозяйства

Показатели	Ед. изм.	2014	2015	2016	2017	2018
Поголовье (коров)	Гол	25	22	15	12	11
Удой на 1 фуражную корову	Кг	1158	1145	1156	1134	1124
Деловой выход телят	%	40	45	40	25	27
Произведено молока	Кг	12738	10305	6936	5670	4670



Рис. 3 – Производственные показатели поголовья (коров) и делового выхода телят

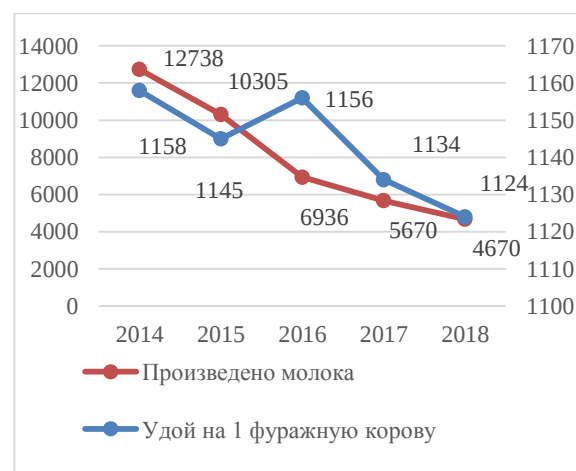


Рис. 4 – Производственные показатели молока и удою на 1 фуражную корову

В основу зимних рационов коров должны составлять объемистые корма. Оптимальное количество сена молочным коровам составляет 1,7 – 2 кг на 100 кг живой массы животного. Чтобы обеспечить животных витамином Р., дача сена должна быть не менее 1,6 – 2 кг их массы. Силос рекомендуется вводить в рацион коров из расчета 3 – 4 кг на 100 кг живой массы. Кормовые корнеплоды – 1,0 – 1,5 кг молока. Концентрированные корма – 250 – 350 г на 1 кг молока. Нашими исследованиями установлено, что включение в рационы полученного белка повысило удои, привес, физиологические особенности. Протекание микробного синтеза в аппаратах разного масштаба в пересчете на единицу объема количества получаемого продукта (биомассы или продуктов метаболизма) будет одинаковым или почти одинаковым в аппаратах разного масштаба.

Список литературы

1. Шапошников, Ю.А. Динамика взаимодействие частицы туков и лопасти в процессе перемешивания / Шапошников Ю. А., Чернецкая Н. А., Кулагина Н. А., Кантор С. А.; - Сибирский вестник сельскохозяйственной науки № 2 (225) – Новосибирск, 2012. – С. 66 - 71.
2. Кокиева, Г.Е. Исследование дрожжевания кормового белка в оборудовании пищевой промышленности /И. Б. Шагдыров, Г. Е. Кокиева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2016. – № 2. – С. 95-100.
3. Кокиева, Г.Е. Исследование аппарата для культивирования микроорганизмов / Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 123-125.
4. Кокиева, Г.Е., Павлова, А.И. Добавление биологически активной добавки в рацион животным в зимний период времени в условиях крайнего севера // Г. Е. Кокиева, А.И. Павлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 10. – С. 42-45
5. Кокиева, Г.Е., Дондоков, Ю.Ж., Неустроева А.И. Современные кормоцехи животноводческих ферм // Г. Е. Кокиева, Ю.Ж. Дондоков, А.И. Неустроева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 10. – С. 110-114.

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

05.13.11

¹И.К. Алайцев, ²Т.В. Данилова канд. физ.-мат. наук,
³А.О. Мантуров канд. физ.-мат. наук, ⁴Г.О. Мареев д-р мед. наук

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

¹Институт электронной техники и приборостроения,
кафедра системотехника и управление в технических системах,

²Институт прикладных информационных технологий,
кафедра информационная безопасность автоматизированных систем,

³Поволжский институт управления имени П.А. Столыпина,
факультет государственного и муниципального управления,

кафедра прикладной информатики и информационных технологий в управлении,

⁴Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского,
факультет стоматологии,
кафедра оториноларингологии,

alaitsev@gmail.com, tvdan521@gmail.com, manturovao@gmail.com, drmareev@mail.ru

СОЗДАНИЕ АНАТОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА СПИНЫ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАММЫ ДЛЯ ЭПИДУРАЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА

Для выполнения эпидуральной пункции необходимы знание анатомии спины и позвоночника, а также умение точно контролировать движение иглы. Средства виртуальной реальности позволяют создать систему для приобретения указанных навыков. В статье представлена методика создания анатомических моделей на основе данных компьютерной томографии высокого разрешения, пригодных для использования в системах виртуальной эпидуральной симуляции. Полученные таким способом модели имеют высокую детализацию и могут использоваться как для графического рендеринга, так и для моделирования физики эпидурального прокола.

Ключевые слова: *виртуальная реальность, анатомия, компьютерная томография, сегментация, симуляционное обучение.*

Виртуальные симуляторы являются эффективным инструментом медицинского симуляционного обучения. Они позволяют значительно снизить затраты на обучение, повысить базовый навык обучающихся и значит сократить вероятность ошибок при выполнении манипуляций начинающими медицинскими специалистами. При симуляционном обучении отсутствует потребность в расходных материалах, учебные задания могут повторяться неограниченное число раз.

Сочетание виртуальной реальности с тактильной обратной связью позволяет значительно повысить реалистичность симуляции, развивать не только теоретические, но и практические, психомоторные навыки. Практика использования симуляторов с тактильной обратной связью максимально полезна при обучении сложным травмоопасным манипуляциям.

Эпидуральная анестезия — один из методов анестезии, при котором лекарственные препараты вводятся в эпидуральное пространство позвоночника через катетер. Спинномозговая пункция — введение иглы в субарахноидальное пространство спинного мозга на поясничном уровне. Обе манипуляции сходны по методике их проведения — игла проходит через различные слои мягких тканей спины, затем должна попасть в промежуток

между позвонками, затянутый желтой связкой (ligamentum flava), после чего анестетик вводится в эпидуральное пространство, либо в случае спинномозговой пункции, прокалываются оболочки спинного мозга. Процедуры эти достаточно сложны для исполнения и при неправильном проведении могут приводить к развитию опасных осложнений [1].

Обычно программно-аппаратные комплексы для симуляции эпидуральной анестезии состоят из устройства, создающего тактильную обратную связь (гаптик-устройство), позволяющее создавать определенные усилия на руку обучающегося, и экрана, создающего изображение спины и пункционной иглы [2]. При этом качество обеих составляющих симуляции: тактильной обратной связи и визуализации видимой картины манипуляции напрямую зависит от качества моделирования биологических структур, подвергаемых манипуляции. В данной работе представлен метод построения анатомической модели участка спины, для которого симулируется эпидуральный прокол.

Для проведения начальных испытаний работоспособности алгоритмов имитации прокола и математических моделей была разработана упрощённая модель участка спины (Рис. 1). Данная модель состоит из нескольких параллелепипедов различной толщины. Толщина каждого параллелепипеда соответствует значениям, представленным в табл. 1.

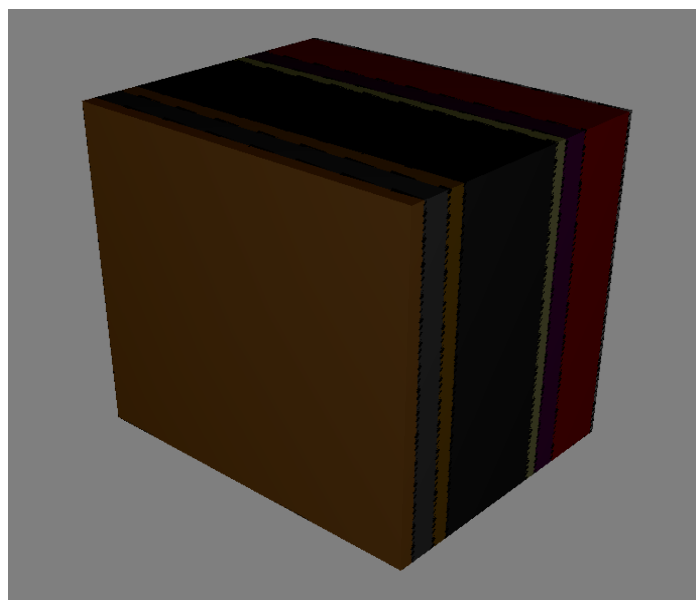


Рис. 1 – Упрощенная модель участка спины

Таблица 1 - Толщины и глубины размещения различных анатомических слоёв

Слой тканей	Толщина (мм)	Глубина (мм)
Кожа	3	0
Подкожный жир	6	3
Надпозвоночная связка	4	9
Межпозвоночная связка	26	13
Жёлтая связка	3	39
Эпидуральное пространство	6	42
ТМО и спинной мозг	15	48

Полноценная модель участка спины была подготовлена на основе компьютерных томограмм высокого разрешения. При этом был выполнен ряд шагов:

1. Выделение из полной томограммы участка при помощи 3D Slicer [3].
2. Сегментация при помощи редактора анатомических моделей [4]. Для данной цели также возможно использование 3D Slicer.
3. Построение поверхностных моделей на основе сегментированных слоёв тканей при помощи 3D Slicer.

4. Упрощение и доработка моделей при помощи Blender [5]. Получаемые непосредственно из сегментированных данных трёхмерные модели содержат слишком много полигонов, могут содержать лишние детали, являющиеся результатами некорректной автоматической сегментации артефактов томографии.

Первоначальная попытка создания анатомической модели оказалась неудачной. Это связано с тем, что при выполнении томографического исследования больших по протяжённости участков тела шаг срезов увеличивается для сокращения лучевой нагрузки на пациентов. В результате, после сегментации и создания полигональной модели из такой томограммы получается модель с отчётливо видимыми ступенчатыми артефактами (рис. 1а).



Рис. 2 – Модель участка спины: а) со ступенчатыми артефактами, б) сглаженная

Была выполнена попытка доработки полученной модели. Для этого был применён простой сглаживающий фильтр. Следует отметить, что «гребёнка» на рёбрах несколько сильная, что автоматическим сглаживанием не убирается без значительной порчи всей модели. Поэтому рёбра приходится обрабатывать вручную. Результат сглаживания показан на рис. 1б: боковые отростки и стенки позвонков стали слишком тонкими. Кроме того, низкое разрешение по вертикальной оси томограммы также уменьшает реалистичность модели.

Для решения возникших проблем был применён другой подход. Вместо исправления результирующей полигональной модели было произведено ресемплирование компьютерной томограммы с использованием фильтра Lanczos [6]. После ручного удаления артефактов томографии и выполнения описанного выше алгоритма подготовки моделей была получена модель, подходящая для использования в симуляторе (рис. 3).

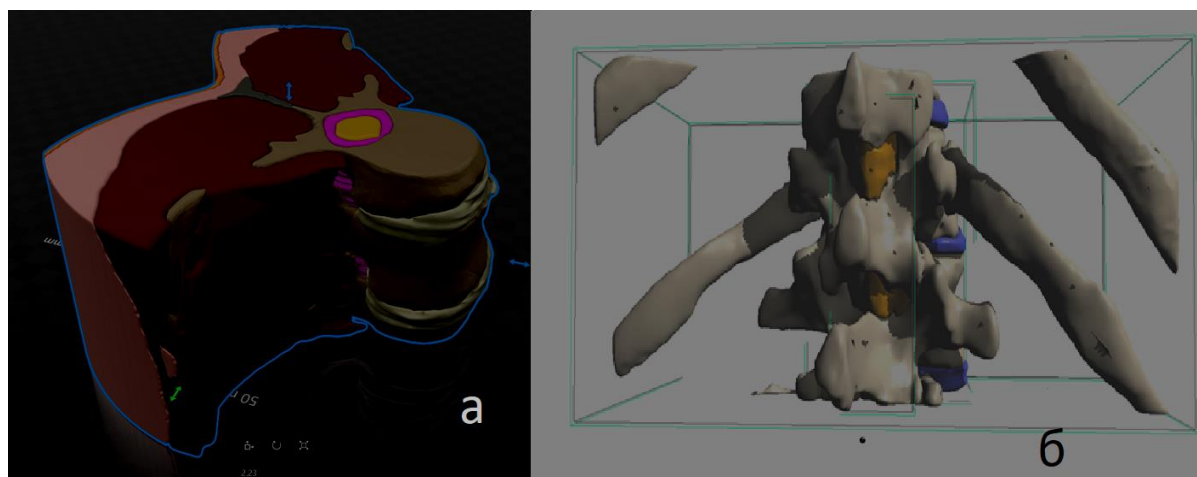


Рис. 3 – Модель участка спины: а) внешний вид, б) внутренняя структура

Следует отметить, что полученная модель была незначительно доработана: ряд структур имел пропуски и прогалы, которые были исправлены. Пример подобного артефакта показан на рис. 4. В данном случае, это отверстие в модели желтой связки, на рисунке оно выделено зеленой окружностью.



Рис. 4 – Отверстие в модели желтой связки

Важным свойством полученной модели является отсутствие необходимости явного задания толщины различных слоёв. Поскольку модель получена из результатов компьютерной томографии, толщина всех слоёв соответствует реальной анатомии. Данная модель может быть использована как для визуализации области проведения манипуляции, так и для моделирования физики эпидурального прокола.

Список литературы

1. *Kopacz D.J., Neal J.M., Pollock J.E.* The regional anesthesia «learning curve». What is the minimum number of epidural and spinal blocks to reach consistency? // *Reg Anesth.* 1996. Т. 21. № 3. С. 182–190.
2. *Vaughan N., Dubey V.N., Wee M. Y. K., and Isaacs R.* A review of epidural simulators: Where are we today? // *Medical Engineering & Physics.* 2013. Т. 35. № 9. С. 1235–1250.
3. *Kikinis R., Pieper S.D., Vosburgh K.G.* 3D Slicer: A Platform for Subject-Specific Image Analysis, Visualization, and Clinical Support // *Intraoperative Imaging and Image-Guided Therapy* / под ред. F.A. Jolesz. New York, NY: Springer New York, 2014. С. 277–289
4. *Alaytsev I.K., Danilova T.V., Manturov A.O., Mareev G.O., Mareev O.V.* Creation of anatomical models from CT data // *Saratov Fall Meeting 2017: Laser Physics and Photonics XVIII; and Computational Biophysics and Analysis of Biomedical Data IV* / под ред. V.L. Derbov, D.E. Postnov. SPIE, 2018. С. 18.
5. Blender Online Community. Blender - a 3D modelling and rendering package. Blender Institute, Amsterdam, 2018.
6. *Turkowski K., Gabriel, Steve.* Filters for common resampling tasks // *Graphics Gems Graphics Gems.* 1990. С. 147–165.

05.13.11

**Т.И. Каримов канд. техн. наук, А.И. Каримов канд. техн. наук,
В.Ю. Островский, А.Г. Давидчук канд. техн. наук**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
факультет компьютерных технологий и информатики,
кафедра систем автоматизированного проектирования,
Санкт-Петербург, tikarimov@etu.ru, aikarimov@etu.ru,
vyostrovskii@etu.ru, agdavidchuk@etu.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В данной работе предложена методика анализа и оптимизации интегрированных САПР как гетерогенных организационно-технических систем с помощью имитационного моделирования. Предложена новая нотация для создания графических моделей САПР, основанная на нотации UML. Разработана программная среда дискретно-событийного моделирования САПР, анализирующая схемы, созданные с применением данной нотацией. Результаты показывают, что учет в модели всех ресурсов проектной организации, включая технику и специалистов, позволяет произвести выявление узких мест процесса проектирования, оценить и повысить максимально выполнимый объем проектных работ с минимальными затратами.

Ключевые слова: САПР, организационно-технические системы, моделирование, оптимизация, графическая нотация.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили САПР, позволяющие производить сквозное проектирование – от подготовки технического задания до выдачи документации на производство. Нередко эти системы являются интегрированными и гетерогенными, т.е. использующими подсистемы автоматизации проектирования от различных производителей. Кроме того, согласно принятой в отечественной классификации, к САПР относят и организационное обеспечение, представляющее собой кадровый состав проектного отдела (организации) и связи между ними. С точки зрения комплексного анализа САПР, эта составляющая имеет большое значение.

При формировании САПР в первую очередь необходимо получить целостное представление о процессе проектирования, затем – выбрать подлежащие автоматизации этапы. Выбор той или иной подсистемы САПР диктуется рядом факторов: качеством получаемых с ее помощью решений, стоимостью, совместимостью с имеющимся оборудованием и программным обеспечением и т.д. После этого производится выбор и оптимизация программно-аппаратных средств, численность и квалификация специалистов, а при необходимости – их замена или обучение.

В настоящее время для планирования и исследования бизнес-процессов (частным случаем которых является автоматизированное проектирование) применяется ряд технологий. Одна из них – визуальное моделирование: система описывается с помощью диаграмм, например, в нотациях IDEF или UML, в результате чего ее структура принимает наглядную форму, доступную для восприятия лицом, принимающим решение. Недостатками этой технологии является статичность получаемого решения, а также большая роль аналитика в выявлении узких мест и просчетов в планировании. Другим подходом является имитационное моделирование (ИМ): реальная система заменяется компьютерной моделью, в которой имитируются процессы, происходящие в действительности. Имитационное моделирование позволяет сделать предварительные (иногда весьма точные) оценки эффективности бизнес-

процессов, а также рассмотреть различные варианты организации подразделений предприятия и выбрать оптимальные без их реального воплощения, что приводит к снижению издержек и росту окупаемости предприятия [1].

Построение модели САПР. Нотация CDL

Как было указано выше, структура САПР в значительной степени диктуется процессом проектирования. Вопрос о подобии сложного процесса и его модели является в значительной степени вопросом подобия их структур. При разработке модели САПР необходимо учесть, что процесс проектирования является дискретно-событийным, дуальным, параллельным; математически он описывается ориентированным прогрессивно-ограниченным графом [3]. Следовательно, модель САПР, базирующаяся на модели процесса проектирования, должна быть топологически гомеоморфна такому графу. Одним из способов формализации САПР, обладающих этим свойством, является ресурсно-процедурная модель (РПМ). Согласно этой концепции, САПР представляется в виде совокупности ресурсов и процедур, совершаемых над объектом проектирования, который движется от одной процедуры к другой, изменяя свое состояние от технического задания до полного набора конструкторско-технической документации, являющейся конечным продуктом процесса проектирования. Процедура выполняется в течение некоторого времени и требует определенных ресурсов, которыми являются как КСАП (чаще всего – компьютеры, программное обеспечение и сетевая инфраструктура), так и инженеры-проектировщики. К ресурсам могут быть причислены и инженерные знания: в форме персональных знаний проектировщиков или в форме знаний, доступных всем пользователям САПР через базу знаний [4].

Ресурсы могут быть неразделяемые, монопольные (люди, большая часть технических средств) и разделяемые, например, доступная всем пользователям САПР информация или локальная сеть. Для выполнения каждой процедуры требуется определенное семейство разнотипных ресурсов. К примеру, для выполнения типовой проектной процедуры (ТПП) «трассировка печатной платы» необходим инженер с достаточными знаниями, рабочая станция с операционной системой и программой-трассировщиком. Кроме того, может понадобиться сетевое оборудование и сервер [4].

Графически ресурсно-процедурная модель САПР может быть представлена различными способами. Один из возможных вариантов нотации, предлагаемый авторами данной работы, – расширение диаграмм деятельности языка UML 2.0. Условно введенная нотация названа CDL (CAD Description Language, язык описания САПР). В табл. 1 представлены все возможные элементы диаграммы, указано краткое описание и правила соединения блоков.

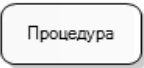
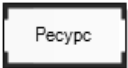
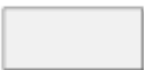
Основные отличия нотации CDL от UML – следующие:

1. Диаграмма ориентирована не вертикально, а горизонтально. В настоящее время большинство графических редакторов для систем моделирования поддерживают именно горизонтальную ориентацию схем как преимущественную (AnyLogic, Simulink и т.д.).

2. Каждая процедура (аналог деятельности в UML) может быть выполнена, только если связана с каким-либо ресурсом (одним или несколькими).

Из блоков может быть сформирована ресурсно-процедурная модель (РПМ) САПР любого уровня абстракции, от отдельных составляющих проектной операции на рабочем месте до всей САПР целиком. С помощью нотации CDL возможно не просто представить процесс проектирования в виде последовательности операций, но и указать обратные связи по качеству получаемых проектных решений. Это позволяет отобразить реальную ситуацию, когда проект на каком-либо этапе признается выполненным неудовлетворительно и направляется на доработку.

Таблица 1 – Возможные элементы диаграммы

Элемент	Пиктограмма	Описание	Правила соединения
Процедура		Аналог блока «Деятельность» в диаграммах деятельности UML 2.0	Слева – вход по транзактам, справа – выход по транзактам, сверху (снизу) вход по ресурсам
Ресурс		Описывает ресурсы, необходимые для выполнения процедур	Сверху (снизу) подключается к блокам процедур
Распараллеливание		Разветвляет поток транзактов (проектов) на два параллельных потока	Слева – вход по транзактам, справа – два выхода по транзактам
Синхронизация		Объединяет два параллельных потока транзактов	Слева – два входа по транзактам, справа – выход по транзактам
Принятие решения		Направляет транзакты по одному из двух путей в соответствии с логическим выражением	Левый угол – вход по транзактам, любые две другие вершины ромба – выходы по транзактам
Источник		Генерирует транзакты с заданными свойствами	Справа – выход по транзактам
Сток		Поглощает транзакты	Слева – вход по транзактам
Рамка		Выделяет логически связанные области диаграммы, улучшая ее восприятие	Нет соединений; декоративный элемент

На рис. 1 представлена РПМ САПР, предназначенной для проектирования командных приборов в составе систем инерциальной навигации. Данная схема укрупненная, дающая общее представление о процессе проектирования. Деятельность каждого отдела также может быть описана одной или несколькими диаграммами CDL, порождая древовидную иерархию. На вход САПР поступают технические задания, на выходе САПР – готовая КТД для производства серии приборов. Обратные связи по качеству охватывают два контура, один из которых ведет в самое начало процесса проектирования, что дает возможность вызывать значительное увеличение сроков проектирования.

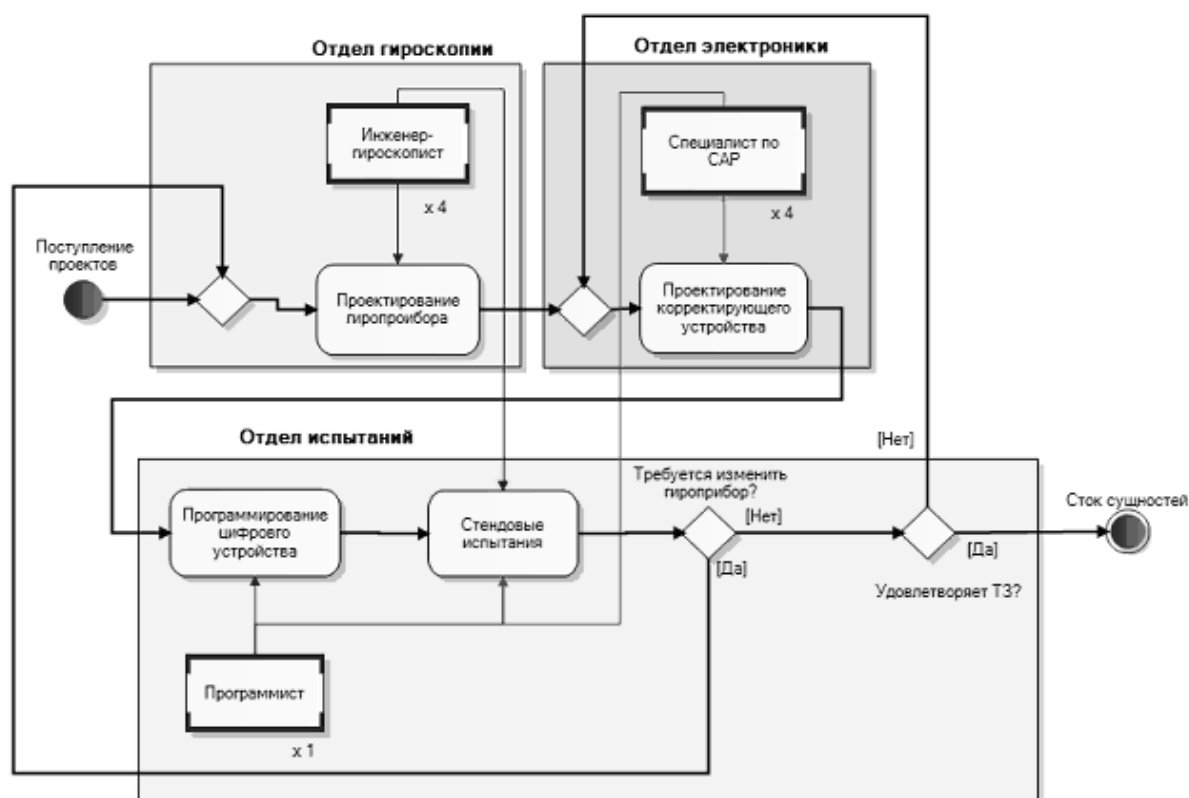


Рис. 1 – Ресурсно-процедурная модель

Таким образом, уже на этапе графического моделирования в нотации CDL системный аналитик видит слабые стороны организации процесса проектирования.

О выборе программных средств: приложение SAPR-SIM

Как уже было сказано, имитационное моделирование является мощным средством анализа САПР. Выбор программных средств обусловлен многими факторами, прежде всего, стоимостью и удобством применения для данной конкретной задачи. Возможны два подхода: использование средств общего назначения и специальных средств для имитационного моделирования конкретно САПР. В первом случае пользователь получает дорогостоящий инструмент, обладающий множеством избыточных функций, хотя неоспоримым плюсом этого подхода являются большая гибкость универсальной системы. Еще одним недостатком этого решения является то, что в настоящее время в популярных программных пакетах для имитационного моделирования отсутствуют библиотеки, которые позволили бы моделировать гетерогенные программно-организационные структуры, такие как САПР.

Для решения поставленной задачи специалистами кафедры САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ» была разработана программа для имитационного моделирования SAPR-SIM. Она представляет собой приложение для ОС Windows, обладающее не только адаптированным под задачу лингвистическим и алгоритмическим обеспечением, но также возможностями по оптимизации модели. Кроме того, в программу планируется включение модулей статистической обработки данных, снятых с реального процесса проектирования, а также обработки экспертных оценок для тех случаев, когда другие подходы к формированию моделей малопригодны (например, назначение весовых коэффициентов в различных математических выражениях, описывающих модель).

Поскольку SAPR-SIM является специализированным инструментом для решения задачи формирования архитектуры интегрированной САПР, некоторые возможности, имеющиеся у данной программы, принципиально отсутствуют у универсальных программ имитационного моделирования (Arena, AnyLogic, Simulink, GPSS World и т.п.). Так, при оптимизации модели SAPR-SIM может перебирать различные варианты компонентов из базы данных, чего не может ни одна из перечисленных программ [5][6].

Описание процесса имитационного моделирования

Имитационный эксперимент, который производится над моделью САПР, включает имитационное моделирование как основной этап, однако, кроме этого, содержит ряд других шагов:

1. Формулировка проблемы и целей ИМ (в случае САПР целью может быть анализ производительности при заданных параметрах, выявление узких мест, определение наиболее рационального распределения ресурсов).
2. Формализация модели и ее программирование. САПР описывается в виде ресурсно-процедурной модели в нотации CDL.
3. Подготовка исходных данных, испытание модели и исследование, проверка модели на достоверность.
4. Планирование и проведение эксперимента, интерпретация результатов, принятие решений.

Сам процесс имитационного моделирования в SAPR-SIM достаточно стандартен для такого рода систем. С помощью генератора случайных чисел создается последовательность транзактов (проектов), которые направляют на вход модели, и по мере прохождения блоков претерпевают изменение, после чего поступают на выход.

Время в модели рассчитывается с переменным шагом, равным интервалу от текущего момента до ближайшего события, которым является переход проекта из одного блока в другой. Выбор в пользу переменного шага обусловлен тем, что события в модели возникают неравномерно, а имитационный эксперимент может охватывать большой промежуток времени. Главным источником задержек являются блоки типа «процедура», включающие в себя очередь и элемент задержки. В универсальных системах, таких как GPSS и AnyLogic, «очередь» и «задержка» – разные элементы. С учетом специфики САПР, эти блоки объединены в один, что упрощает программирование и логику работы модели. При попадании проекта в блок «процедура» он помещается в конец очереди FIFO. Когда в ходе моделирования проект попадает в начало очереди, он получает статус «обрабатываемого», и для него рассчитывается время обработки – задержка Δt . По завершении очередной модельной итерации выбирается проект с минимальной задержкой Δt_{min} , и модельное время передвигается на эту величину вперед.

SAPR-SIM является однопоточной системой, то есть в ней нет одновременно обрабатываемых событий; несколько событий, происходящих одновременно, моделируются в той последовательности, в какой они возникли в ходе моделирования. С учетом, что в реальной модели всегда есть элемент неопределенности и реально одновременные события крайне маловероятны, ошибочные ситуации, связанные с таким управлением временем, в ходе тестирования программы замечены не были.

Параметрическая оптимизация: мотивация и метод

Параметрическая оптимизация – мощный инструмент, позволяющий улучшить характеристики проектируемой системы с минимальными затратами труда разработчика. При проектировании или модернизации САПР одним из наиболее трудных вопросов является подбор ресурсов в грамотном сочетании, так как требования к САПР противоречивы.

В SAPR-SIM заложена возможность автоматической подстройки двух типов параметров:

1. Количественный параметр – множественность каждого блока ресурсов. Оптимизация по этому параметру позволяет равномерно распределить загрузку каждого ресурса, увеличив их количество в узких местах и уменьшив их количество там, где оно избыточно.
2. Качественный параметр – атомарный ресурс определенной категории внутри блока ресурсов. Зачастую перед специалистом системы стоит выбор, что предпочесть: более дешевый и менее производительный ресурс, или более дорогой, но и более производительный. Правильность выбора нередко можно установить только с помощью имитационного моделирования. Однако ручной перебор вариантов и многократный запуск моделирования может оказаться трудоемким.

Оптимизация может вестись и одновременно по этим двум параметрам, при этом целевая функция в ходе оптимизации – взвешенная сумма численных значений параметров САПР, таких как среднее время обработки проекта $\Delta T_{ср}$, стоимость, безопасность, эргономичность. В SAPR-SIM используется модификация генетического алгоритма, блок-схема которого показана на рис. 2, 3.

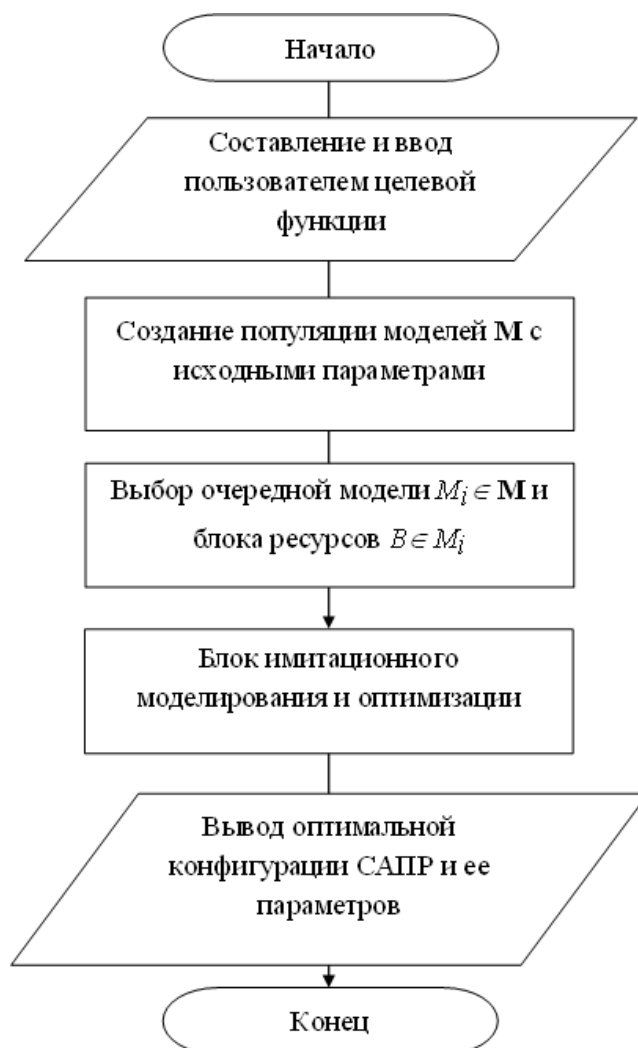


Рис. 2 – Блок-схема модификации генетического алгоритма, используемого в SAPR-SIM

Вычислительный эксперимент на тестовой модели

Рассмотрим функционирование SAPR-SIM на примере САПР, приведенной на рис. 1. Основные параметры модели приведены в табл. 2. Частота поступления проектов – 1 проект каждые 3 месяца с разбросом 1 месяц. Моделирование производилось за промежуток, равный одному году.

На рис. 4 показаны графики загруженности блоков (инженер-гироскопист, специалист по САР), полученные в одном из экспериментов серии из десяти опытов. По результатам моделирования видно, что число некоторых ресурсов избыточно. Так, при заданном режиме функционирования САПР достаточно иметь трех инженереров-гироскопистов и двух специалистов по САР, причем один из гироскопистов занят очень непродолжительное время. Таким образом, САПР нуждается в оптимизации.

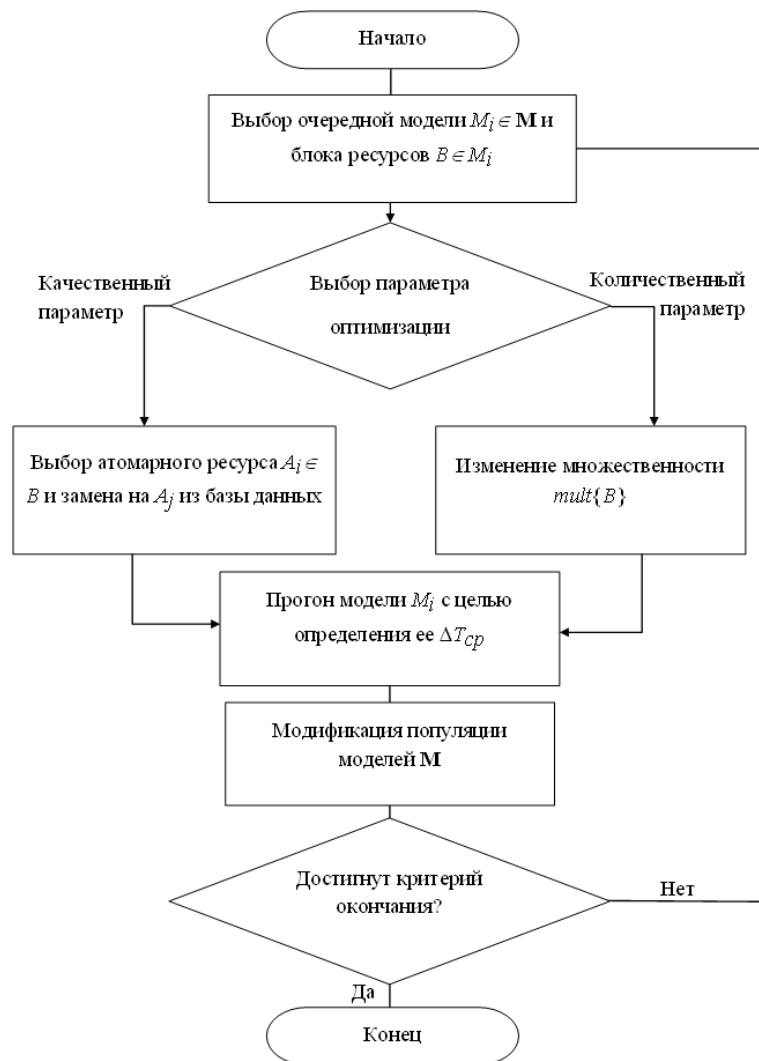


Рис. 3 – Блок имитационного моделирования и оптимизации

Таблица 2 – Параметры ресурсно-процедурной модели

Проектная процедура	Среднее время выполнения, дни	Разброс по времени, дни	Вклад в качество проекта, усл.ед.	Разброс качества, усл. ед.	Число сотрудников
Проектирование ГП	80	30	5	2	4
Проектирование КУ	30	20	5	3	4
Программирование МК	10	9	5	1	1
Стендовые испытания	10	9	1	0	0
Необходимый уровень качества, усл. ед.	10				
Уровень качества, когда проект полностью переделывается	5				

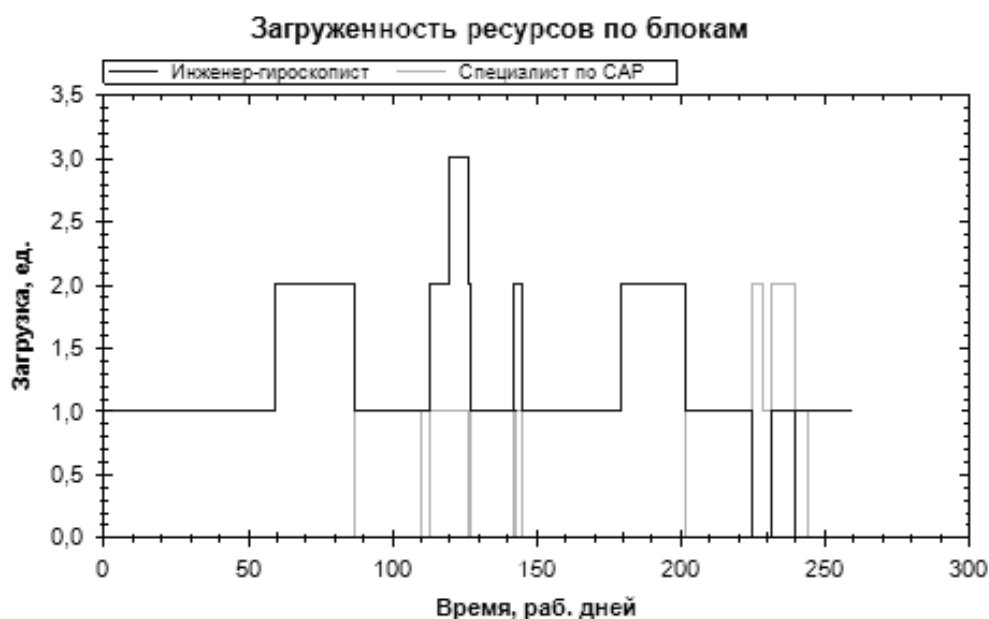


Рис. 4 – Экспериментальные данные о загруженности блоков

В результате параметрической оптимизации средствами SAPR-SIM было получено существенное улучшение параметров системы, при этом подтверждена правильность предположения об оптимальном числе сотрудников. Среднее время разработки проекта не изменилась, стоимость покупки КСАП уменьшилась в 1.9 раз, затраты на содержание САПР в месяц – в 2.5 раза.

Заключение

Задача проектирования и модернизации интегрированной САПР является сложной и нетривиальной, одним из возможных инструментов решения которой является имитационное моделирование. Оно позволяет качественно и количественно оценить производительность и рентабельность принимаемого решения. С помощью средств имитационного моделирования возможно построение САПР с гибкой архитектурой, которая подстраивается под текущие задачи предприятия, оптимизируя занятость ресурсов и операционные затраты.

Существующие программные средства для моделирования дискретно-событийных систем не приспособлены к задаче моделирования САПР. Ввиду их высокой стоимости и недостаточной гибкости сделан вывод, что наиболее оптимальным решением является создание специализированного средства моделирования САПР на основе ресурсно-процедурной модели процесса проектирования. Для формального описания САПР в рамках этой модели предложен формальный язык описания САПР на основе нотации UML 2.0, получивший название CDL.

Разработанный программный комплекс SAPR-SIM предназначен для моделирования и оптимизации ресурсов для решения задачи формирования интегрированной САПР. Апробирование показало методологическую ценность предложенного подхода. Так, имитационное моделирование позволяет оценить загруженность ресурсов и наличие узких мест, а оптимизация на основе эволюционного алгоритма позволяет найти лучшее соотношение между стоимостью и эффективностью, чем это мог бы сделать аналитик. Единственной существенной сложностью является настройка модели под реальные данные, в частности, оценка качества получаемых решений в реальных единицах. Однако аудит процесса проектирования, выявляющий количество случаев, когда проекты направлялись на предыдущий этап, позволяет получить достаточную для принятия решения оценочную величину.

Дальнейшим развитием работы является создание модуля статистической обработки результатов моделирования САПР, а также развитие методики и программных инструментов идентификации существующих САПР с целью их оптимизации.

Список литературы

1. Применение имитационного моделирования в России // AnyLogic. URL: <http://www.anylogic.ru/articles/primenenie-imitatsionnogo-modelirovaniya-v-rossii-costoyanie-na-2007g> (дата обращения: 01.10.2020)
2. Новакова Н.Е. Модели и методы принятия проектных решений в сложноструктурированных предметных областях. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 168 с.
3. Малинин Л.И., Малинина Н.Л. Топологические свойства процесса проектирования. – 2008
4. Новакова Н.Е. Разработка эскизного проекта многопользовательской конструкторской САПР. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.
5. Описание программного комплекса AnyLogic // AnyLogic. URL: <http://www.anylogic.ru/overview> (дата обращения: 01.10.2020)
6. AnyLogic – справка. // AnyLogic. URL: <http://www.anylogic.ru/anylogic/help/index.jsp> (дата обращения: 01.10.2020)
7. Горячев А.В., Новакова Н. Е. Управление знаниями в проектной деятельности. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.

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

05.13.11

А.А. Голубничий, В.А. Мясоедова

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Абакан, artem@golubnichij.ru

**АНАЛИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ SDK
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ**

В работе рассматриваются общие сведения о SDK, анализируется связь между SDK и API. Приводится набор критериев для сравнения качества SDK. Перечисляются и анализируются популярные SDK, используемые в работе с геоинформационными системами при разработке мобильных приложений. Приводится пример использования SDK Maps от компании Google.

Ключевые слова: SDK, мобильная разработка, геоинформационные системы, критерии качества программного обеспечения.

Введение

Software development kit (SDK) представляет собой набор средств, используемых для разработки, в значительной степени упрощающий деятельность программистов в части создания собственных приложений на базе некоторого готового инструментария. Являясь отчасти аналогом интерфейса прикладного программирования (API) и его логичным продолжением, SDK позволяет не только осуществлять связь с информационными системами, но и содержит значительную часть привязки к конкретной платформе [1]. При этом в настоящее время существует большое количество SDK, в том числе и для работы с геоинформационными данными, поддерживающие множество различных платформ с примерно одинаковым функционалом. Таким образом для определения возможности применения того или иного пакета программ разработки, целесообразно выделить критерии для сравнения SDK.

Определение критериев сравнения SDK

С учетом того, что все SDK реализуют примерно один и тот же функционал, при анализе SDK с точки зрения их оптимальности для решения конкретных задач, целесообразно рассматривать факторы, влияющие на скорость разработки. Наиболее оптимальные на наш взгляд критерии для сравнения SDK с их пояснениями сведены в таблицу.

Таблица – Критерии сравнения SDK

Критерий	Описание критерия
Документация	Рассматривается понятность и удобство использования документации, а также дополнительные источники документации, в виде пособий, инструкций, учебников и т.д.
Обучаемость	Возможность пользователю легко работать с системой без обучения или дополнительной помощи. Насколько легко установить и настроить, а также запустить базовые приложения.
Поддержка сообщества	Объем помощи, полученной в блогах сообщества или на сайтах, ориентированных на разработчиков.

Удобство использования	Удобство, простота и современность интерфейса. Легкость, с которой пользователь мог перемещаться через программное обеспечение и находить информацию, которая ему необходима.
Функциональность	Новизна функций, которые содержит программный продукт. Наличие или отсутствие ошибок в программном обеспечении. Наличие встроенных функций, расширяющих возможности продукта.
Гибкость	Быстрота работы программного обеспечения. Степень свободы, которой обладает разработчик.
Интеграция	Возможность взаимодействия с другими компонентами для совместной работы. Поддержка других инструментов.
Производительность	Скорость работы программного обеспечения. Наличие сбоев, потребляемые ресурсы.
Цена	Модели ценообразования. Наличие пробного периода.

Обзор некоторых популярных SDK

Yandex SDK. Данный продукт включает различные библиотеки для разработки программного обеспечения на таких платформах как iOS и Android. Работа с Yandex SDK происходит через аккаунты на Яндексе, одной из самых популярных библиотек для работы с картами является библиотека MapKit [2].

MapKit – это кроссплатформенная библиотека для использования в мобильных приложениях для операционных систем iOS и Android, которая позволяет использовать возможности Яндекс.Карт.

Ключевые возможности MapKit: предоставление доступа к картам Яндекса с последними обновлениями; построение автомобильных маршрутов с учетом дорожной ситуации; определение пешеходных маршрутов или маршрутов с использованием общественного транспорта; отображение пробки на карте.

Yandex SDK соответствует критериям выбора SDK, а именно есть различная документация и гиды по работе, наличие круглосуточной технической поддержки, понятное использование, хорошая функциональность, гибкость, отличная интеграция с другими продуктами от компании Yandex, производительность и цена (есть бесплатная и коммерческая версии).

OpenStreetMap. OpenStreetMap – это бесплатная карта мира, открытая инициатива добровольцев по совместному созданию карты мира и публикации картографических данных по бесплатной и открытой лицензии [3]. Есть много способов использования OpenStreetMap: в качестве базовой карты, с использованием данных OSM для маршрутизации или навигации, с использованием данных OSM для геоинформационного анализа.

Набор данных OpenStreetMap представляет физические объекты на земле (например, дороги или здания) с помощью тегов, прикрепленных к его основным структурным элементам (его узлам, путям и отношениям). Каждый тег описывает географический атрибут объекта, отображаемого этим конкретным узлом, способом или отношением. В зависимости от целей использования OSM применяются различные библиотеки для работы с картами.

К основным библиотекам OSM относятся:

- Osm-common: используемая платформа – Android.
- Osmapi: используемая платформа – Android.
- OsmApiClient: кроссплатформенная.
- OsmAR: кроссплатформенная.
- Rosemary: кроссплатформенная.
- Services_OpenStreetMap: кроссплатформенная.

OpenStreetMap позволяет просматривать географические данные из любой точки Земли, предоставляя небольшие изображения плитки на основе запросов пользователей и объединяя эти изображения в одно для отображения области карты в элементе управления картами.

Анализируя данный SDK, по критериям, описанным выше, можно сделать вывод о соответствии OpenStreetMap таким критериям как: наличие различной документации по работе, понятное и интуитивное использование, отличная функциональность для работы с картами, гибкость, хорошая интеграция, производительность и цена (бесплатное использование). Отличительной особенностью OpenStreetMap, как и любого Open Source проекта, является факт значительной поддержки со стороны пользовательского сообщества и фактически отсутствие помощи со стороны тех поддержки.

Google Cloud SDK. SDK представляет собой набор инструментов, которые используются для управления различными ресурсами и приложениями, размещенными на платформе Google Cloud Platform, включая такие ресурсы как: App Engine, Compute Engine, Cloud Storage, BigQuery, Cloud SQL и Cloud DNS [4].

Особенностью использования Google Cloud SDK является возможность интегрировать и воспользоваться всеми преимуществами ряда сервисов системы Google, в том числе и при работе с геоинформационными данными, с помощью следующих инструментариев:

- Клиентские библиотеки: библиотеки используют соглашения и стили каждого поддерживаемого языка, сокращают объем необходимого шаблонного кода и оптимизируют рабочий процесс разработки.
- Gsutil: обеспечивает доступ к облачному хранилищу, управление возможно прямо из командной строки.
- Bq: позволяет выполнять запросы и управлять наборами данных, таблицами и объектами в BigQuery через командную строку.
- Kubectl: позволяет развертывать приложения, проверять ресурсы кластера и управлять ими.
- Cloud Shell: предоставляет доступ из командной строки к облачным ресурсам прямо из браузера, т.е. управлять проектами и ресурсами без установки Google Cloud SDK или других инструментов.
- Emulators: необходим для работы с эмуляторами для таких продуктов, как Cloud Bigtable, Datastore, Firestore, Spanner и Pub / Sub, для локальной разработки, тестирования и проверки.

Google Cloud SDK – является коммерческим ресурсом, для его использования также необходимо иметь аккаунт Google. Основным инструментом для работы с картами выступает SDK Maps. С помощью SDK Maps можно добавлять карты на основе данных Google Maps в мобильное приложение, SDK автоматически обрабатывает доступ к серверам Google Maps, также можно добавлять на карту маркеры и информационные окна. Эти объекты предоставляют дополнительную информацию о местоположениях на карте и позволяют пользователю взаимодействовать с картой.

На рисунке ниже представлен рендеринг изображения карты на мобильном устройстве с использованием SDK Maps.



Рис. 1 – Рендеринг изображения, созданного с помощью SDK Maps (Республика Тыва, с выделением границ региона)

Google SDK, помимо широко функционала, обозначенного выше, полностью соответствует критериям качества SDK, а именно есть различная документация и гиды по работе с SDK на разных языках программирования, у данного продукта присутствует техническая поддержка. Также SDK удобно в использовании и отличается широким функционалом. Таким образом, SDK Maps имеет ряд преимуществ в сравнении с ранее рассмотренными продуктами.

Список литературы

1. Sandoval, K. What is the Difference Between an API and an SDK?. Nordic APIs Blog. Nordic APIs AB. Retrieved 5 July 2018.
2. MapKit – SDK Яндекс.Карт – Технологии Яндекса [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/dev/maps/mapkit/> (дата обращения: 08.11.2020).
3. Map Features – OpenStreetMap Wiki [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features (дата обращения: 08.11.2020).
4. Overview | Maps SDK for iOS | Google Developers [Электронный ресурс]. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/ios-sdk/> (дата обращения: 08.11.2020).

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

05.13.18

¹А.К. Байбулов канд. техн. наук, ²Н.В. Иваницкая канд. физ.-мат. наук¹Баишев университет,
технический факультет,²Казахско-русский международный университет,
Актобе, Казахстан, amirbai@mail.ru, vip.nvi1979@mail.ru**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОГО ПЛОСКОГО ДНИЩА
С РАДИАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ**

Представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния гладкого и оребренного плоских днищ, находящихся под избыточным давлением. Определены оптимальные параметры ребер жесткости и стенок плоских днищ различного диаметра, обеспечивающие минимальную материалоемкость конструкции.

Ключевые слова: *плоское днище, ребра жесткости, напряженно-деформированное состояние, оптимизация, материалоемкость, компьютерное моделирование.*

Введение. Основным недостатком плоских днищ горизонтальных емкостей для хранения жидкостей и газов является плохая сопротивляемость действующему давлению, вследствие чего они имеют большую толщину [1,2]. Поэтому вопросам обеспечения прочности и снижения материалоемкости подобных конструкций уделяется большое внимание. Известны рекомендации по усилению плоских днищ ребрами жесткости [1,2,3,4]. Однако вопрос подбора оптимальных параметров ребер и толщины стенок плоского днища в этих работах не освещен.

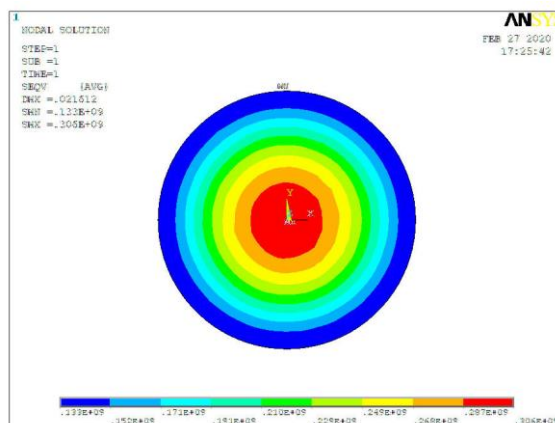


Рис. 1 – Распределение напряжений в гладком плоском днище

Условие прочности предполагает подбор размеров конструкции по действующим нагрузкам и возникающим при этом напряжениям. В плоском гладком днище, как показывают расчеты, выполненные в ANSYS, поле напряжений выглядит в виде концентрических окружностей с максимумом в центре (рис. 1). Выбор толщины стенки по максимальному напряжению приводит к недогрузке краев днища и перерасходу материала.

При установке ребер жесткости поле напряжений меняется (рис 2). Действующая нагрузка распределяется между стенкой днища и ребрами жесткости. В ребрах наиболее нагруженной оказывается средняя часть, над центральной областью днища. Напряжения в стенке представляют собой поле, состоящее из расположенного в центре днища более нагруженного

и смещенного к краям менее нагруженного участков. При этом они значительно ниже напряжений, возникающих под действием подобной нагрузки в плоском гладком днище. Следует отметить, что изменение диаметра днища также вызывает изменение поля напряжений. Поэтому, при недостаточно обоснованном подборе параметров днища, одни части его окажутся более нагруженными, другие – менее, что при выполнении условий прочности конструкции приведет к излишней материалоемкости. Для получения равнонагруженной конструкции необходимо обеспечить оптимальное соотношение размеров ребер и толщины стенки днища.

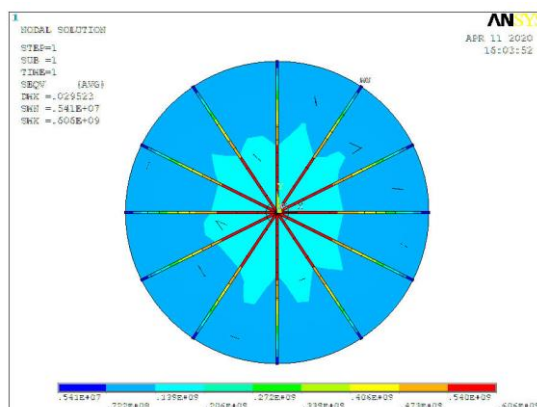


Рис. 2 – Распределение напряжений в гладком плоском оребренном днище

Целью работы является снижение металлоемкости оребренного днища в сравнении с гладким путём подбора оптимальных параметров ребер жёсткости и толщины стенки. Оребренное днище, в соответствии с рекомендациями [5] было с шестью, радиально установленными ребрами жесткости. Задача исследования состояла в определении конструктивных размеров, а также масс плоских днищ равного диаметра с гладкой и оребренной поверхностями при действии на них одинаковой нагрузки, соответствующей давлению жидкости в резервуаре. В связи с тем, что днища изготавливаются из одного материала и учитывая особенности программы ANSYS [6], при проведении оптимизационных расчетов рассчитывались объемы. Ограничения накладывались по напряжениям, которые не должны превышать 160 МПа. Одновременно определялись минимальные толщины стенок гладкого S и оребренного t днищ, а также размеры ребер hxb , при которых максимальные напряжения в конструкциях не превышали бы допускаемых значений. Для корректного сравнения двух вариантов расчеты проводились по единой методике. Моделирование стенки осуществлялось с помощью конечных элементов SHELL 181, а ребер жесткости - BEAM 4. Контур днища был закреплен от перемещений во всех направлениях. В качестве материала для стенок и ребер принята сталь со следующими характеристиками: модулем упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$. При проведении расчетов использовалось свободное разбиение сетки конечных элементов.

Результаты. Первоначально путем численного анализа были установлены оптимальные толщины стенок гладких плоских днищ различных диаметров при определённом давлении (табл. 1). Из них видно, что с ростом диаметра днища минимально допустимая толщина её стенок значительно увеличивается.

Поле напряжений для оптимизированного варианта оребренного плоского днища представлено на рис. 3. Напряжения в ребрах и стенке при этом практически одинаковы, экстремальные напряжения смещаются из центра в межреберное пространство, ближе к краям днища, причем они находятся в пределах допускаемых значений.

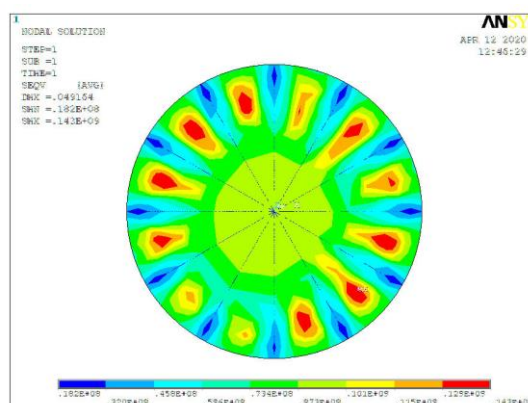


Рис. 3 – Распределение напряжений в гладком плоском оптимизированном оребренном днище

Результаты расчетов по оптимизации параметров оребренного днища приведены в таблице 1. Они показывают, что толщина стенки при увеличении диаметра днища меняется по сравнению с гладким плоским незначительно. Для оптимизированных параметров оребренного днища в большей степени характерно увеличение размеров ребер, нежели толщины стенки.

Таблица 1. Оптимальные параметры плоских днищ при давлении $p=100$ кПа, м

Параметры	Диаметр днища, м			
	1,0	1,5	2,0	2,5
Гладкое днище				
Толщина стенки S	0,014	0,020	0,028	0,035
Оребренное днище				
Толщина стенки t	0,005	0,006	0,006	0,007
Высота ребра h	0,033	0,054	0,072	0,090
Толщина ребра b	0,007	0,008	0,012	0,014

Найденные параметры оребренного плоского днища позволяют получить конструкцию, у которой возникающие под действием приложенной нагрузки напряжения будут одинаковыми в ребрах жесткости и стенке. Расчеты показывают, что металлоемкость подобного днища по сравнению с плоским гладким, находящимся под таким же давлением, значительно ниже (табл. 2). Следует отметить, что с увеличением диаметра степень снижения материалоемкости оребренного днища возрастает.

Таблица 2. Объемы оптимизированных днищ при давлении $p=100$ кПа, м³

Форма днища	Диаметр днища, м			
	1,0	1,5	2,0	2,5
гладкая	0,01094	0,0265	0,0874	0,1730
оребрённая	0,00533	0,0144	0,0296	0,0539

Выводы. Результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что путём подбора оптимальных конструктивных параметров оребренного плоского днища можно получить конструкцию, в которой напряжения в ребрах жесткости и стенке будут одинаковыми. Наряду с прочностью подобное днище обеспечивает значительную экономию материала, которая с увеличением диаметра возрастает.

Список литературы

1. Нехаев Г.А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления [Текст] : учеб. пособие для студентов по направлению 653500 «Стр-во» / Г. А. Нехаев. – М. : АСВ, 2005. – 216 с.
2. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
3. Лагуткин М.Г. Особенности расчета и конструирования плоских круглых днищ с радиальными ребрами жесткости //Безопасность труда в промышленности. – 2014. - №7.- С. 46 – 49.
4. Коротковских В.К., Вотинов В.А. Расчет на прочность плоского днища с ребрами жесткости //Вестник Курганского университета. – 2008. - №3. – С. 8 – 10.
5. Иваницкая Н.В., Байбулов А.К. Исследование влияния расположения ребер жесткости на напряженно-деформированное состояние плоского круглого днища // Научно-технический вестник Поволжья, Казань, - №9/ 2020, - С. 49-52.
6. Дашенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов / Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Н. Г. Сурьянинова.— Одесса. — Пальмира, 2011.— 505 с.

05.13.18

**А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, Р.М. Галиев канд. техн. наук,
Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук, Ш.С. Хуснетдинов канд. техн. наук**

НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
Набережные Челны, aleks-jb@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ ИНЕРЦИОННОГО СИНХРОНИЗАТОРА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

В статье рассмотрен рабочий процесс инерционного синхронизатора с конусной муфтой, применяемого в автомобильных коробках передач. Отмечена необходимость учета влияния внешней среды при определении технических параметров механизма. Предложена уточненная методика оценки нагруженности и работоспособности элементов синхронизатора.

Ключевые слова: *коробка передач, переключение передачи, инерционный синхронизатор, конусная муфта, удельная работа трения, работа буксования, блокирующее устройство.*

Применение синхронизаторов в механических коробках передач вызвано необходимостью уменьшения динамических нагрузок, возникающих при переключении передач. Наиболее часто в конструкции современных автомобилей используются инерционные синхронизаторы с коническими фрикционными элементами (муфтами). К достоинствам таких синхронизаторов можно отнести относительную простоту конструкции и надёжность в эксплуатации. Однако работоспособность и долговечность инерционных синхронизаторов существенно зависят от условий нагружения.

В работе [1] при анализе отказов переднеприводных автомобилей ВАЗ отмечен интенсивный износ синхронизаторов и выход из строя шестерён второй передачи. Там же указано на взаимосвязь данных отказов со значительным интервалом передаточных чисел первой и второй передач.

Интенсивные нагрузки на детали синхронизатора приводят к их перегреву и сокращению сроков службы [2]. На рис. 1 показаны детали синхронизатора коробки передач легкового автомобиля – ступица и блокирующая муфта со следами интенсивной работы.



Рис. 1 – Детали инерционного синхронизатора с конической муфтой

Оценку нагруженности синхронизатора в отечественной науке принято проводить по двум показателям: удельной работе трения (буксования) и нагреву за одно включение [3]. При этом существующая методика имеет недостатки, в силу которых возможно возникновение неточностей, приводящих к неправильному выбору параметров синхронизатора.

В частности, не учитывается рабочая температура деталей синхронизатора, которая может заметно различаться. В работах [4, 5, 6] показано существенное влияние окружающей среды в зимнее время эксплуатации на узлы трансмиссии, в частности на механизм переключения передач.

Зависимость для расчёта нагрева синхронизатора, приводимая в работе [3], не учитывает неравномерность теплообмена между конусной муфтой синхронизатора и зубчатым колесом включаемой передачи.

Условия трения в паре «конусное кольцо – зубчатое колесо» зависят от различных эксплуатационных факторов. В частности, в работе [7] отмечалось влияние на коэффициент трения разности угловых скоростей в паре трения и направления винтовой нарезки на кольце синхронизатора.

При оценке нагруженности синхронизатора важно учитывать условия блокировки преждевременного включения передачи. В работе [8] предложена зависимость для определения угла наклона блокирующих поверхностей к плоскости, перпендикулярной оси симметрии конуса синхронизатора и введено понятие диапазона угла блокировки β .

На основании проведённых авторами исследований предлагается производить оценку нагруженности инерционного синхронизатора с использованием следующей математической модели, состоящей из выражений для определения удельной работы трения (буксования), нагрева за одно включение и диапазона угла блокировки.

Удельная работа трения находится по формуле [3], уточнённой для реальных условий эксплуатации:

$$l_{mp} = 0,5 \cdot \frac{J_n \cdot \omega_e^2}{S_k \cdot k_s} \cdot \left(\frac{1}{u_{i+1}} - \frac{1}{u_i} \right)^2, \quad (1)$$

где J_n - приведённый момент инерции деталей, связанных с включаемым зубчатым колесом; ω_e - частота вращения первичного вала коробки передач; S_k - площадь конуса синхронизатора; k_s - коэффициент, учитывающий неполноту включения конусного кольца из-за износа, деформации поверхностей и т.п.; u_{i+1}, u_i - передаточные числа передач.

Изменение температуры фрикционного кольца синхронизатора за одно включение передачи определяется по формуле:

$$\Delta T_c = 0,5 \cdot \frac{J_n \cdot \omega_e^2}{m_{зк} \cdot c_{см}} \cdot \left(\frac{1}{u_{i+1}} - \frac{1}{u_i} \right)^2 \cdot k_t, \quad (2)$$

где k_t - коэффициент, учитывающий начальную температуру зубчатого колеса; $m_{зк}$ - масса зубчатого колеса; $c_{см}$ - теплоёмкость материала колеса.

Диапазон угла блокировки синхронизатора определяется по зависимости, приведённой в работе [8]:

$$\frac{\mu \cdot r_{cp}}{r_{\delta} \cdot \sin \delta} \leq \operatorname{tg} \beta \leq \frac{(1 + \mu') \cdot \mu \cdot r_{cp}}{r_{\delta} \cdot \sin \delta}, \quad (3)$$

где μ, μ' - коэффициенты трения конусной пары и блокирующих поверхностей муфты, определяемые для начальной температуры синхронизатора и колеса; r_{cp} - средний радиус

конуса; r_δ - радиус расположения блокирующих элементов; δ - угол наклона поверхностей трения (угол конуса).

Использование приведённой математической модели нагруженности элементов инерционного синхронизатора позволит, по мнению авторов, повысить эксплуатационную надёжность коробок передач и уточнить технические параметры деталей.

Список литературы

1. *Фролов В.Г.* Анализ неисправностей механических КПП легковых автомобилей в условиях эксплуатации и методов их предотвращения / В.Г. Фролов, П.А. Христьян // Эффективность технической эксплуатации и автосервиса транспортных и технологических машин: сборник научных статей по материалам III Международной научной конференции. – Саратов, 14 апреля 2017 г. – Саратов: ГАУ ДПО «СОИРО», 2017. С. 137-142.
2. *Азаматов Р.А., Дажин В.Г., Кулаков А.Т., Модин А.И.* Восстановление деталей автомобилей КамАЗ. – Набережные Челны: КамАЗ, 1994. – 215 с., ил.
3. *Осепчугов В.В., Фрумкин А.К.* Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
4. *Долгушин А.А.* Исследование процесса охлаждения КПП автомобиля КАМАЗ в межсменный период / А.А. Долгушин, Д.В. Баранов // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 22-23 ноября 2018 г. Часть 1 / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. – С. 808-811.
5. *Курдин П.Г.* Современные проблемы эксплуатации автомобилей в условиях низких температур независимо от климатической зоны / П.Г. Курдин, Ю.К. Филиппов, В.А. Токарев // Итоговая научная конференция: (2018; Набережные Челны) [Текст]: сб-к докладов. - Набережные Челны: ИПЦ Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2018. – С. 62-73.
6. *Барыкин А.Ю.* Эффективность работы узлов трансмиссии грузового автомобиля в условиях холодного климата / А.Ю. Барыкин, В.В. Лянденбургский, Р.Х. Тахавиев // Грузовик. – 2018. – № 8. – С. 7-10.
7. *Постников Д.В.* Прогнозирование среднего срока службы синхронизаторов коробки передач / Вопросы проектирования и исследования автомобилей. Межвузовский сборник научных трудов. – М.: МАМИ, 1989. – С. 173-179.
8. *Барыкин А.Ю.* К расчёту блокирующих устройств инерционных синхронизаторов автомобильных коробок передач / «Автомобиль и техносфера: Труды 1-й Международной научно-практической конференции». - Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева, 1999. – С. 113-115.

05.13.18

¹Д.А. Галдин, ²В.О. Каледин д-р техн. наук

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет»,
Новокузнецк, fazz321@gmail.com, vkaled@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИНАХ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Исследуется модель теплового неразрушающего контроля пластин из материалов, подверженных расслоениям. Разработан алгоритм обработки динамических термограмм, позволяющий определить границы дефекта. Точность результатов обработки термограмм по предложенному алгоритму исследована на физическом эксперименте.

Ключевые слова: ортотропная пластина, расслоения, температурное поле.

Активный тепловой неразрушающий контроль (ТНК) позволяет обнаружить дефекты в тонких пластинах из композиционных материалов. Пластины нагреваются различными источниками тепла, а температурные поля измеряются тепловизионной аппаратурой. Анализ динамических термограмм позволяет определить наличие и расположение дефектов.

В анализе термограмм используется дифференциальный температурный сигнал $\Delta T(x, y, t)$, отражающий разницу между фактически измеренными температурами и их эталонными значениями на бездефектном объекте [1]. Под объектами понимаются тонкие ортотропные пластины с различной теплопроводностью в плоскости и по нормали. Эталонные значения температур можно получить эмпирически или вычислить теоретически.

Рассмотрим тонкую пластину прямоугольной формы. Оси X и Y декартовой системы будут направлены вдоль кромок, а ось Z — по нормали. Начало координат располагается в срединной плоскости. Тогда температура пластины в отсутствии внутренних источников тепла, при нагреве её поверхности, описывается уравнением теплопроводности [2]:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где c — удельная теплоёмкость; ρ — плотность; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ — коэффициенты теплопроводности по направлениям; t — прошедшее время.

Это уравнение замыкается начальным условием: $T(x, y, z, 0) = T_0$ и граничными условиями второго или четвёртого рода, в зависимости от способа нагрева поверхностей (лицевой и обратной) и кромок пластины. Его численное решение не представляет затруднений [3], а в случае равномерного нагрева поверхности известно и аналитическое решение [3].

Наличие расслоений в пластине искажает температурное поле по сравнению с решением уравнения (1). Теплопроводность воздуха, заполняющего дефект, много меньше теплопроводности материала пластины, поэтому лицевая (нагреваемая) сторона в дефектной области греется быстрее чем в бездефектной, а на противоположной стороне точки в дефектной области, наоборот, нагреваются медленнее. В связи с этим, в результате оптического нагрева пластины, в дефектной области, на передней и задней стороне, образуются тёплые и холодные пятна соответственно [1]. При этом, на лицевой стороне $\Delta T > 0$, а на обратной $\Delta T < 0$ меньше. Отсюда естественным образом вытекает критерий наличия дефекта в исследуемой области пластины: точка поверхности пластины (x, y)

находится над дефектом, расположенным в пластине, если при равномерном нагреве, в этой точке, в момент времени t , на лицевой стороне сигнал ΔT больше нуля, а на противоположной — меньше.

Предложенный критерий связан с измерением температуры на обеих сторонах пластины, что требует комбинированной процедуры контроля, сочетающей одностороннюю и двустороннюю процедуры. Использование информации о распределении температур с обеих сторон объекта позволяет уменьшить влияние шумов, затрудняющих нахождение дефектов. Для повышения достоверности полученных данных рассчитанное эталонное поле температуры может корректироваться результатами измерения температуры в точке, заведомо находящейся в бездефектной области (координаты такой точки задаются вручную).

Автоматизированная обработка термограмм осуществляется в несколько этапов. На первом этапе определяются значения ΔT в каждом пикселе изображения. Пиксели сопоставляется с соответствующей точкой на поверхности объекта; поскольку изображение обратной стороны получается зеркальным по отношению к лицевой стороне, выполняется преобразование координат. Следующий этап состоит в преобразовании сигнала. Для подавления случайных шумов первичное преобразование может включать сглаживание сигнала по соседним пикселям, однако процедура сглаживания вносит дополнительные искажения. Поэтому имеет смысл ввести скалярную характеристику, достаточно устойчивую к случайным отклонениям сигнала в отдельных пикселях.

Рассмотрим две фиксированные точки пластины, одна из которых расположена на лицевой стороне, а другая — на обратной. Дифференциальный температурный сигнал в первой точке обозначим через $\Delta T^+(x, y, t)$, во второй — через $\Delta T^-(x, y, t)$. Сигнал на обратной стороне инвертируем следующим образом:

$$\Delta T^{inv}[x, y, \tau] = \max_{x, y, t} \Delta T^-(x, y, t) - \Delta T^-(x, y, t) \quad (2)$$

На третьем этапе необходимо комбинировать сигналы в точках лицевой и обратной стороны, получив скалярную характеристику сигналов с обеих сторон. Для этого предлагается рассмотреть произведение:

$$S(x, y, \tau) = T^+(x, y, \tau) \cdot T^{inv}(x, y, \tau) \quad (3)$$

Такая комбинация исключает из результирующего сигнала температурные пятна, связанные со случайными «засветками» и неравномерностью нагрева, а также уменьшает количество шумов, связанных с поперечной диффузией тепла. Полученный сигнал S имеет высокие значения в областях пластины, где на передней стороне температура выше эталонной, а на задней — ниже (рис. 1). Таким образом, построен алгоритм автоматизированной обработки термограмм пластин, позволяющий визуализировать дефектные области.

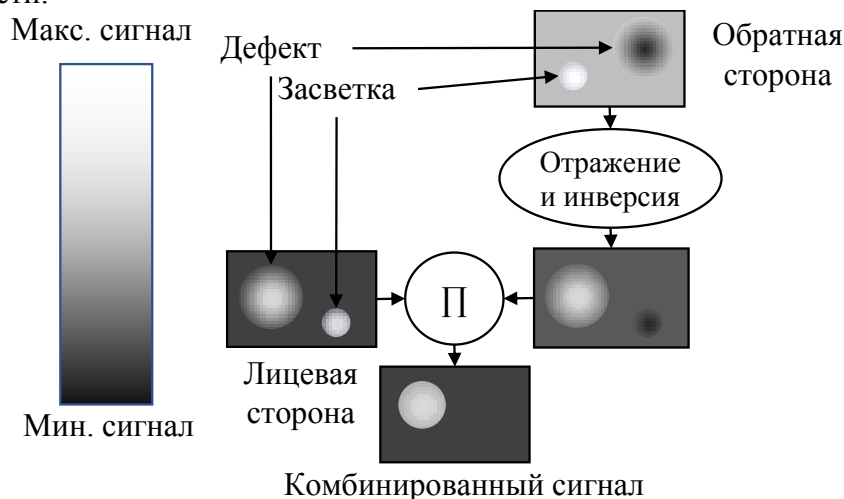


Рис. 1 – Комбинирование сигналов

Для экспериментальной проверки алгоритма были исследованы температурные поля в пластине из слоистого углепластика с дефектом – расслоением, расположенным параллельно плоскости пластины (рис. 2). Размеры и положение дефекта независимо определялись методом электрических сопротивлений [4].

Видеосъёмка тепловых полей осуществлялась тепловизором RGK TL-80. Методика получения температурных сигналов из видеофайлов детально описана в [5]. В качестве нагревателей использовались лампы накаливания мощностью 60, 150, 200, 250 и 300 Вт.

Во время замера пластина нагревалась одной из ламп накаливания в течении десяти секунд. Для каждой лампы осуществлялось по пять замеров: пластина дважды нагревалась с одной стороны, а затем с другой; при нагреве с одной и той же стороны тепловизор в одном замере располагался с лицевой стороны, во втором — с обратной. Последний замер осуществлялся с использованием инфракрасных зеркал [6].

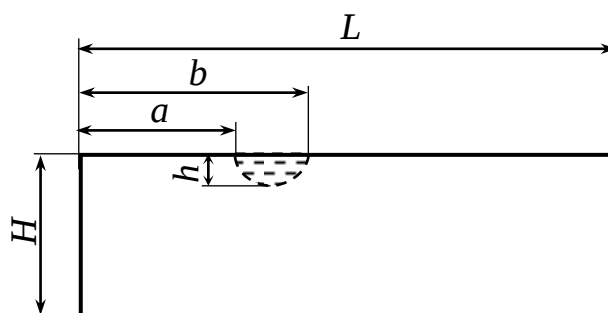


Рис. 2 – Схема исследуемой пластины: длина $L = 200$ мм, ширина $H = 52$ мм, расстояния от кромки до границ дефекта $a = 79$ мм, $b = 100$ мм, ширина дефекта $h = 15$ мм

Эксперименты показывают, что дефект становится заметен даже в условиях очень слабых температурных сигналов (при нагреве маломощной лампой 60 Вт $\Delta T^+(x, y, t) \leq 1,0^\circ\text{C}$, $\Delta T^-(x, y, t) \leq 0,6^\circ\text{C}$). Увеличение мощности лампы приводит к снижению ошибки определения координат дефекта.

Процедура контроля с одновременной двусторонней съёмкой при помощи зеркал требует меньших временных затрат и снимает проблему синхронизации кадров двух термограмм, но связана с усложнением отображения координат пикселей в координаты точек объекта.

Для всех проведённых экспериментов найденные координаты границ расслоения отличаются от фактических не более чем на 10%, причём увеличение мощности лампы уменьшает отклонения координат до 4-6%.

Таким образом, предложено использовать нормированные отклонения температуры от её эталонных значений на двух поверхностях пластины, чтобы путём инверсии одного из сигналов и последующего произведения полученных значений получить характеристику, адекватно отражающую влияние дефекта на температурные поля при одностороннем нагреве. Разработанный алгоритм обработки динамических термограмм с использованием этой характеристики позволяет достаточно точно определить границы расслоения, и наглядно визуализировать дефект.

Список литературы

1. *Вавилов В.П.* Инфракрасная термография и тепловой контроль / *В. П. Вавилов* — Москва: издательский дом «Спектр», 2013 — 544 с.
2. *Аношкин А.Н.* Моделирование процесса теплового неразрушающего контроля композитных деталей авиационной техники / *А.Н. Аношкин, Д.В. Головин, В.М. Осокин, Д.С. Аликин, Е.А. Мугизова* // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2019. — с. 51-60.
3. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности / *А. В. Лыков* — Москва: высшая школа, 1967 — 544 с.
4. *Крюкова Я.С.* Математические модели и методы в задачах диагностики расслоений тонкостенных элементов конструкций из электропроводных композиционных материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / *Я. С. Крюкова* — Новокузнецк, 2015. — 141 с.
5. *Галдин Д.А.* Модель тепловизионной измерительной системы для регистрации температур при тепловом неразрушающем контроле [Текст] / *Д. А. Галдин* // Краевые задачи и математическое моделирование: темат. сб. науч. ст. — Новокузнецк, 2019 — с. 20-26.
6. Способ ультразвуковой термотомографии и устройство для его осуществления // Патент России № 2686498. 2019. Бюл. № 13. / *Будадин О. Н., Кульков А. А., Козельская С. О., Каледин В. О., Вячкин Е. С.*

05.13.18

В.А. Иванов канд. техн. наук, И.А. Мутугуллина канд. техн. наук

Бугульминский филиал ФГБОУ ВО
«Казанского национального исследовательского технологического университета»,
Бугульма, vladivanov56@yandex.ru

МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОДНОФАЗНОЙ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Отличительными особенностями теплообмена в системах охлаждения дизельных двигателей являются первая – стационарность, вторая – выполнение условия $Pr > 1$ ($Pr = 0(1)$). Это позволяет не учитывать внешнюю (струйную) часть пограничного слоя. В [1] рассматривается редукция расчета струйного пограничного слоя на задачу Коши для уравнения неустановившейся теплопроводности. В предлагаемой модели используется аналогичная идея для расчёта неструйных пограничных слоев на поверхностях охлаждения гильз цилиндров дизелей. Модель позволяет рассчитывать поля коэффициентов теплоотдачи на этих поверхностях. Это дает возможность учитывать, как влияние расположения подводящих и отводящих отверстий, так и обращение циркуляции охлаждающей жидкости на теплоотдачу.

Ключевые слова: пограничный слой, коэффициент теплоотдачи, параметры подобия: число Рейнольдса (Re), число Прандтля (Pr), число Нуссельта (Nu).

Теплообмен в системах охлаждения дизельных двигателей отличается две особенности: первая – стационарность, вторая – выполнение неравенства $Pr > 1$, ($Pr = 0(1)$ (по крайней мере, если в качестве охлаждающей жидкости используется вода).

Так как толщина температурного пограничного слоя уменьшается с ростом числа Прандтля, то температурный слой «вморожен» в пристеночную часть скоростного пограничного слоя. Поэтому поперек температурного слоя выполняется условие:

$$\tau = \tau_w,$$

где τ_w – касательное напряжение трения на стенке.

Эти два обстоятельства – стационарность и $Pr = 0(1)$ позволяют не учитывать внешнюю (струйную) часть пограничного слоя, содержащую медленно меняющуюся функцию тока.

В основе предлагаемой модели лежит известная идея редукции расчетов струйного пограничного слоя на задачу Коши для уравнения неустановившейся теплопроводности [1]. Аналогичная идея может быть использована и для неструйных пограничных слоев.

Рассмотрим ламинарный режим течения в пограничном слое. Введем следующие обозначения:

x, z – продольная и поперечная координаты, x – вдоль текущей стенки, z – по нормали к ней;

U_x, U_z – соответствующие проекции вектора скорости в пограничном слое
 $U_l = \lim_{z \rightarrow \infty} U_x(x, z)$ – скорость на внешней границе пограничного слоя.

Тогда уравнения количества движения для пограничного слоя запишется в виде:

$$U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) + U_l \frac{dU_l}{dx}, \quad (1)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости.

Вводим новые переменные:

$$\varphi = \nu \int_0^x U_l dx_1, \quad \eta = \int_0^z U_x(x, z_1) dz_1 \quad (2)$$

С учетом того, что $\frac{\partial(\varphi, \eta)}{\partial(x, z)} = \nu U_x U_l \neq 0$ уравнение (1) перепишется в виде:

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi} = \sqrt{y} \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2} + 2 \frac{U_l'}{U_l} (1 - y), \quad (3)$$

где $y = \left(\frac{U_x}{U_l}\right)^2$.

Для окончательной аналогии с теплопроводностью введем новую переменную $\zeta = \frac{\eta}{2\sqrt{\varphi}}$.

Обозначим $\frac{d \ln U_l}{d \ln \varphi} = \frac{\alpha}{8}$, тогда уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\sqrt{y} \frac{\partial^2 y}{\partial \zeta^2} + 2\zeta \frac{dy}{d\zeta} + \alpha(1 - y) = 0 \quad (4)$$

с граничными условиями: $y(0) = 0$, $y(\infty) = 1$.

Уравнение (4) можно линеаризировать, заменив $\sqrt{y}$ его среднеарифметическим значением на $\zeta \in]0, \infty[$.

Замена нелинейного коэффициента в уравнении (4) основана на аналогии с методом Кармана решения уравнения пограничного слоя. Рассмотрим пограничный слой на пластине. Функция тока будет удовлетворять уравнению:

$$2 \frac{d^3 f_1}{d\eta^3} + f_1 \frac{d^2 f_1}{d\eta^2} = 0 \quad (5)$$

с граничными условиями $f_1(0) = f_1'(0) = 0$, $f_1'(\infty) = 1$.

Карман использует переменные: $U = f_1'(\eta) \in]0, 1[$,

$K = f_1'' = K(U)$. Учитывая, что $f_1''' = K \frac{dK}{dU}$, $df_1 = U d\eta$, $dU = K d\eta$ получим $f_1 = \int_0^\eta U d\eta = \int_0^U \frac{U_1 dU_1}{K(U_1)}$. Тогда вместо (5) получаем обыкновенное дифференциальное уравнение

$$2KK'' + U = 0 \quad (6)$$

с граничными условиями:

$$K(0) = 1, K(1) = 0. \quad (7)$$

Уравнение (6) Карман рассматривает для внешней части пограничного слоя, где $U = 1$. Тогда вместо (6) получаем уравнение

$$KK'' = -\frac{1}{2}. \quad (8)$$

Пусть $\frac{dK}{dU} = S(K)$, тогда вместо (8) получаем линейное уравнение:

$$K \frac{dS^2}{dK} = -1 \quad (9)$$

Общее решение (9):

$$S^2 = -\ln AK,$$

где A – постоянная интегрирования. $\frac{dK}{dU} < 0$, так как трение уменьшается поперек слоя, поэтому берем ветвь $\frac{dK}{dU} = -\sqrt{-\ln AK}$. Тогда при $K(0) = 1$ получаем:

$$1 - U = \frac{\sqrt{\pi}}{A} \operatorname{erfc}(\sqrt{-\ln AK}), \quad (10)$$

где $\operatorname{erfc} x = \operatorname{Erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$ – стандартное обозначение дополнительной функции ошибок.

Пусть в (10) $U = 0$, тогда $A = 0,7$ – нетривиальное решение. Следовательно

$$U = -\frac{10}{7} \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} \sqrt{\ln \frac{10}{7K}} + 1. \quad (11)$$

Поэтому вместо (8), (7) можно решать линеаризованное уравнение

$$K'' + 1 = 0, \quad (12)$$

с граничными условиями (7): $K(0) = 1, K(1) = 0$. Тогда $K = 1 - \frac{U+U^2}{2}$ или

$$U = \sqrt{2,25 - 2K} - 0,5 \quad (13)$$

Линеаризованное уравнения (4) запишется в этом случае как:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial \zeta^2} + \frac{3\alpha}{2}(1 - y) + 3\zeta \frac{dy}{d\zeta} = 0 \quad (14)$$

или

$$y_1'' + 3\zeta y_1' - 1,5\alpha y_1 = 0 \quad (15)$$

с граничными условиями:

$$y_1(0) = 1, \quad y_1(\infty) = 0, \quad (16)$$

где $y_1 = 1 - y$.

Решение (15), (16) выражается через вырожденные гипергеометрические функции.

Рассмотрим движение жидкости в турбулентном пограничном слое. Полиномиальные и степенные распределения скорости внешнего (безвихревого) потока порождают равновесные пограничные слои.

По определению:

$$\alpha = \frac{8U_l' \int_0^x U_l(x_1) \cdot \varepsilon(x_1, z) dx_1}{\varepsilon(x, z) \cdot U_l(z)}, \quad (17)$$

где $\varepsilon(x, z)$ – коэффициент турбулентной вязкости,

$$U_l(x) = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varphi}{dx} \quad (18)$$

Выполнив необходимые вычисления из (17) и (18) получим обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\frac{\varphi''}{\varphi'} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} + \frac{\alpha}{8} \frac{\varphi'}{\varphi}, \quad (19)$$

где $\varphi' = \frac{d\varphi}{dx}$, $\varphi'' = \frac{d^2\varphi}{dx^2}$, $\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dx}$.

Уравнение (19) имеет общее решение

$$\varphi(x) = [c_1 \cdot E(x, z) + c_2]^{\frac{8}{8-\alpha}}, \quad (20)$$

где c_1, c_2 – константы интегрирования,

$$E(x, z) = \int_0^x \varepsilon(x_1, z) dx_1.$$

Из (20) следует, что

$$U_l(x) = (A \cdot E + B)^{\frac{8}{8-\alpha}}, \quad (21)$$

где A, B – новые постоянные.

Безразмерный коэффициент трения можно записать в виде:

$$c_f = \frac{\tau_w}{\rho \cdot U_l^2},$$

где τ_w – касательные напряжения на стенке.

Для дизелей в условиях однофазной вынужденной конвекции для коэффициента трения имеем [2]:

$$c_f = 0,345 Re_x^{-1/2} \cdot \left(\frac{vx}{E}\right)^{1/2}. \quad (22)$$

С другой стороны для коэффициента трения справедлива полуэмпирическая формула Фокнера В.М.:

$$c_f = 0,0132 Re_x^{-1/7} \quad (23)$$

Из (22) и (23) получаем:

$$E = 700 vx \cdot Re_x^{-5/7} \quad (24)$$

Тогда для профиля скорости получим выражение:

$$\frac{U_x}{U_l} = \sqrt{\operatorname{erf}(0,013/f_1 \cdot Re_x^{5/14})}, \quad (25)$$

где $f_1 = \frac{\psi}{v U_l \cdot x}$, $\operatorname{erf}(x)$ – функция ошибок Гаусса, ψ – функция тока.

Перейдем к определению коэффициентов теплоотдачи.

Для определения вектора скорости безвихревого потока используется конформное отображение физической плоскости течения на плоскость годографа и на плоскость потенциала. Далее, зная распределение касательной составляющей вектора скорости к охлаждаемой поверхности, расчет коэффициентов теплоотдачи можно свести к следующей последовательности вычислений.

1. Вычисляем Re_s – число Рейнольдса ядра потока. Определяем формопараметр $m = \frac{d \ln U_l}{d \ln U_s}$ и формопараметр Лойцянского $f = f(s)$. Для этого используем таблицу 19 [1].

2. Определяем предельную протяженность ламинарного пограничного слоя по длине траектории. Для этого используется график критических чисел Рейнольдса [1, рис. 215].

3. Для ламинарного режима течения используется формула [3, с.95]

$$Nu_x = 0,332^3 \sqrt{Pr} \cdot \sqrt{Re_x} \quad (26)$$

При взаимодействии потока с преградой, расположенной нормально к его скорости теплоотдача в окрестности критической точки рассчитывается по формуле [3, с.101]:

$$Nu_x = 57Pr^{0,4}Re_x^{0,5} \quad (27)$$

Формулы (26) и (27) справедливы для $0,6 < Pr < 10$.

В турбулентной области используется формула Моретти [1], которая в наших обозначениях имеет вид:

$$Nu_x = 0,295Pr^{0,6}Re_x^{0,5}(m+1)^{0,2}.$$

На рис. 1 приведен пример расчета коэффициента теплоотдачи в условиях однофазной вынужденной конвекции на развертке гильзы цилиндра дизеля 6ЧН 12/14. В качестве охлаждающей жидкости используется вода (теплофизические свойства взяты при температуре потока $t = 70^\circ\text{C}$) расход охлаждающей жидкости: $\dot{Q} = 1\text{ м}^3/\text{час}$. Подводящие и отводящие отверстия обозначены I и II соответственно. Циркуляция – прямая.

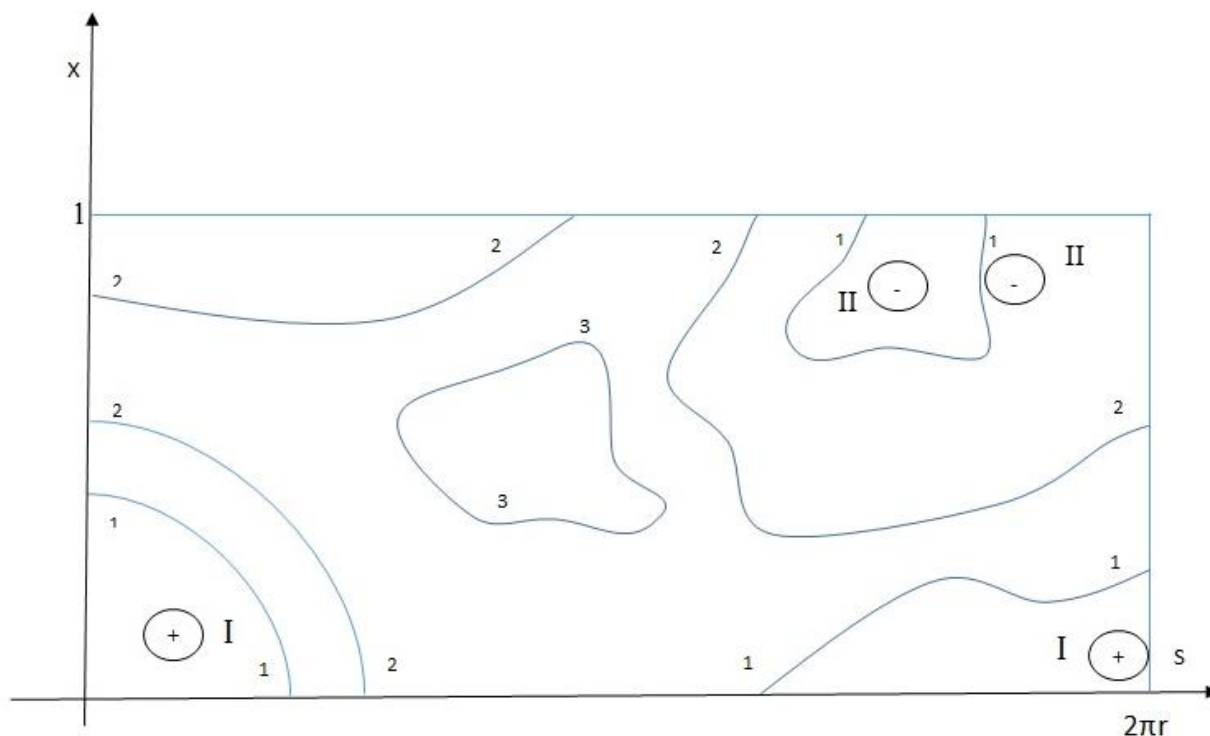


Рис. 1. Поля коэффициентов теплоотдачи на поверхности охлаждения гильзы цилиндра дизеля 6ЧН 12/14:

$$1 - \alpha = 3 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{К}}, 2 - \alpha = 2 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{К}}, 3 - \alpha = 1 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{К}}.$$

Список литературы

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебное пособие для вузов, 7-е изд., М.: Дрофа, 2003, 840 с.
2. Баталова В.А. Температурные и гидродинамические режимы работы системы охлаждения дизелей // Двигателестроение. 1989, №5.
3. Теория теплообмена: учебное пособие / Л.А. Ткаченко, А.В. Репина. Под общей редакцией проф. Н.Ф. Кашапова. – Казань: Изд-во Казан.ун-та, 2017 – 151 с.

05.13.18

В.О. Каледин д-р техн. наук, Д.А. Галдин, А.Д. Ульянов канд. техн. наук

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет»

РАЗРАБОТКА ИНФРАСТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ПОДДЕРЖКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОБЪЕКТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Рассмотрены изменения архитектуры среды функционально-объектного программирования «Алгозит», которые были произведены в целях уменьшения времени выполнения созданных на ней программ. Прирост скорости планируется получить за счёт параллельного выполнения независимых участков функционально-объектной сети.

Ключевые слова: параллельное выполнение, функционально-объектная сеть, визуальное программирование, комплекс программ, архитектура.

Среда функционально-объектного программирования «Алгозит» [1] неоднократно показала свою эффективность в разработке расчётного ПО для решения физических задач [2], [3]. Благодаря графическому представлению разрабатываемых программ, обеспечивается высокая степень наглядности математических зависимостей в математической модели. При этом открытость исходного кода функциональных объектов и поддержка интерпретируемого языка «Ядро» [4] позволяют добавлять новые расчётные алгоритмы, не отказываясь от уже существующих.

Наличие в современных компьютерах многоядерных процессоров позволяет разделить вычислительные ресурсы компьютера на выполнение нескольких независимых задач. Это актуально, например, для таких ресурсоёмких численных методов, как метод конечных элементов. В связи с этим, в качестве дальнейшего развития среды «Алгозит», архитектура программного комплекса была существенно доработана с целью обеспечения поддержки многопоточных вычислений.

Для управления потоками программы используются сообщения ОС Windows с вложенными данными, записанными в специальном формате. Чтобы обеспечить удобство дальнейшей разработки программного комплекса, все его компоненты должны следовать одним и тем же правилам обработки и отправки сообщений. В связи с этим, комплекс программ был дополнен шаблонами приложений, которые отражают общую структуру каждой программы-компонента. На данный момент можно выделить два типа шаблонов: шаблон выполняемого приложения и шаблон динамически подключаемой библиотеки. В обновлённой версии архитектуры подразумевается, что все компоненты комплекса используют эти шаблоны.

Шаблоны описывают интерфейс менеджеров сообщений, управляющих потоками и их данными. Использование шаблонов приложения в каждой программе комплекса позволяет гарантировать единый способ взаимодействия между потоками и модулями.

Любая программа-компонент включает: реализацию класса для собственного менеджера сообщений, создающегося в единственном экземпляре и отвечающего за обмен сообщениями с другими компонентами комплекса; перечисление кодов сообщений, которые может отправить и обработать менеджер этой программы; и независимую функцию обработки входящих сообщений Windows, в которой, путём ветвления по кодам сообщений, определяется метод менеджера, который необходимо вызвать для обработки полученного сообщения. Функция-обработчик, а, соответственно, и методы менеджера, могут быть вызваны из произвольного потока при выполнении метода алгорита или в потоке графического интерфейса.

Отправка сообщений между компонентами комплекса осуществляется при помощи WinAPI. Сообщения из главной оконной процедуры «Windows» передаются в процедуру распределения сообщений среды «Алгозит» (главную процедуру), откуда они распределяются по обработчикам менеджеров. При этом главная процедура может быть вызвана не только из потока приложения, но и обычным вызовом из любого потока.

Схема взаимодействия менеджеров представлена на рисунке 1. Толстыми стрелками отмечено направление отправки сообщений менеджерами для распределения, а тонкими — направление получения после распределения. Пунктирной линией показана передача сообщения из фонового потока в главную процедуру для дальнейшей передачи адресату.

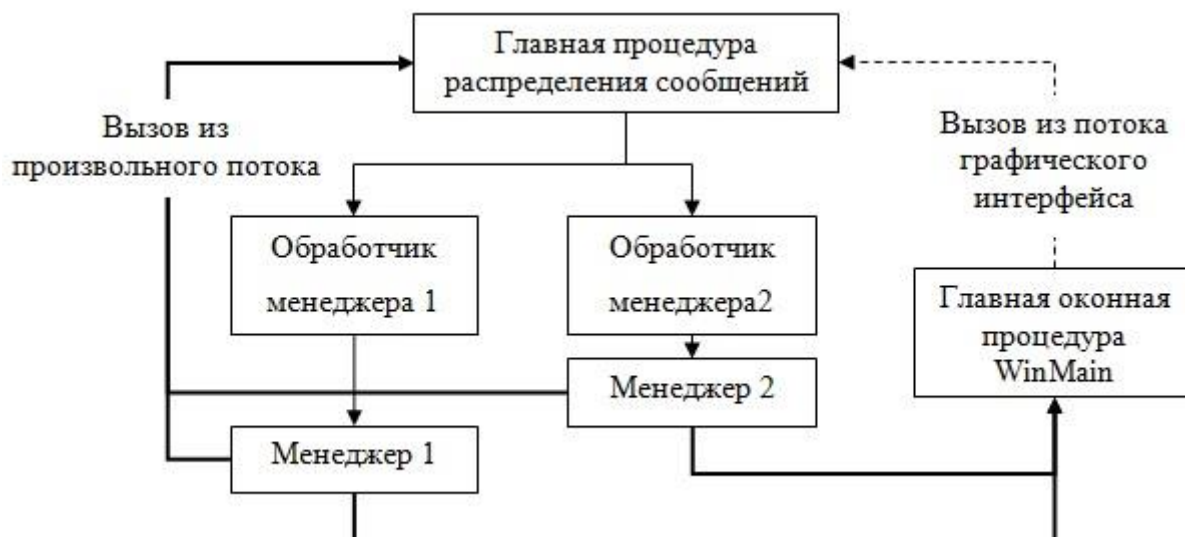


Рис. 1 - Схема обмена сообщениями между менеджерами

Каждый тип сообщения имеет свой код, уникальный в рамках программы-компонента. Для передачи данных посредством сообщений используется объект-вложение. Вложение может иметь произвольные данные, записанные в специальном формате. Если после обработки необходимо отправить дополнительное сообщение, то во вложение помещается код ответного сообщения.

Некоторые сообщения могут подразумевать синхронную обработку. После отправки синхронного сообщения поток-отправитель приостанавливается для предотвращения коллизий. Сообщение обрабатывается в фоновом потоке, и после обработки сообщения и модификации данных остановленный поток возобновляется.

Менеджер потоков, представленный объектом класса TThreadManager, служит для непосредственного управления потоками во время выполнения программы. Функции управления потоками доступны остальным менеджерам через коды соответствующих сообщений и через экспортируемые функции. Обработка внешних сообщений реализована в функции-обработчике менеджера потоков, по аналогии с функциями-обработчиками приложений.

Информация о потоке и методы работы с ним определены в классе-контейнере. Объекты этого класса используются для выполнения независимых функций с данными, подготовленными для этого потока.

Данные потока можно изменять только после его остановки, но поток графического интерфейса является исключением из этого правила. Это связано с тем, что в нём обрабатываются все асинхронные сообщения комплекса программ и системные сообщения окна Windows. Чтобы получить доступ к ресурсам этого потока, необходимо отправить асинхронное сообщение функцией PostMessage, после чего оно становится в потокобезопасную очередь на обработку главной функцией. Такой подход используется для вывода диагностической информации и операций вывода в файл.

Взаимодействие приложения с динамическими библиотеками осуществляется при помощи главного менеджера библиотек, который содержит список всех загруженных библиотек. На стороне главного менеджера определены функции доступа к экспортируемым функциям обработки сообщений каждой библиотеки.

Главный менеджер сообщений служит для хранения кодов всех сообщений, обработчиков и полиморфных указателей на объекты-менеджеры программы. Обработчик главного менеджера устанавливает в другие менеджеры указатели на функции обратного вызова по требованию, осуществляет передачу сообщений в обработчики менеджеров программы. Такая организация обязывает отправившего сообщение менеджера перестать отслеживать состояние вложенного в сообщение объекта и передать права на него получателю сообщения.

Главный менеджер исполняет в первую очередь координирующие и системные функции, а не прикладные, поэтому он не используется рядовыми объектами напрямую, а только через другие менеджеры.

На рисунке 2 представлена схема взаимодействия менеджеров приложения. Толстыми стрелками обозначены взаимодействия между объектами после обработки сообщений, тонкими — исходящие сообщения.

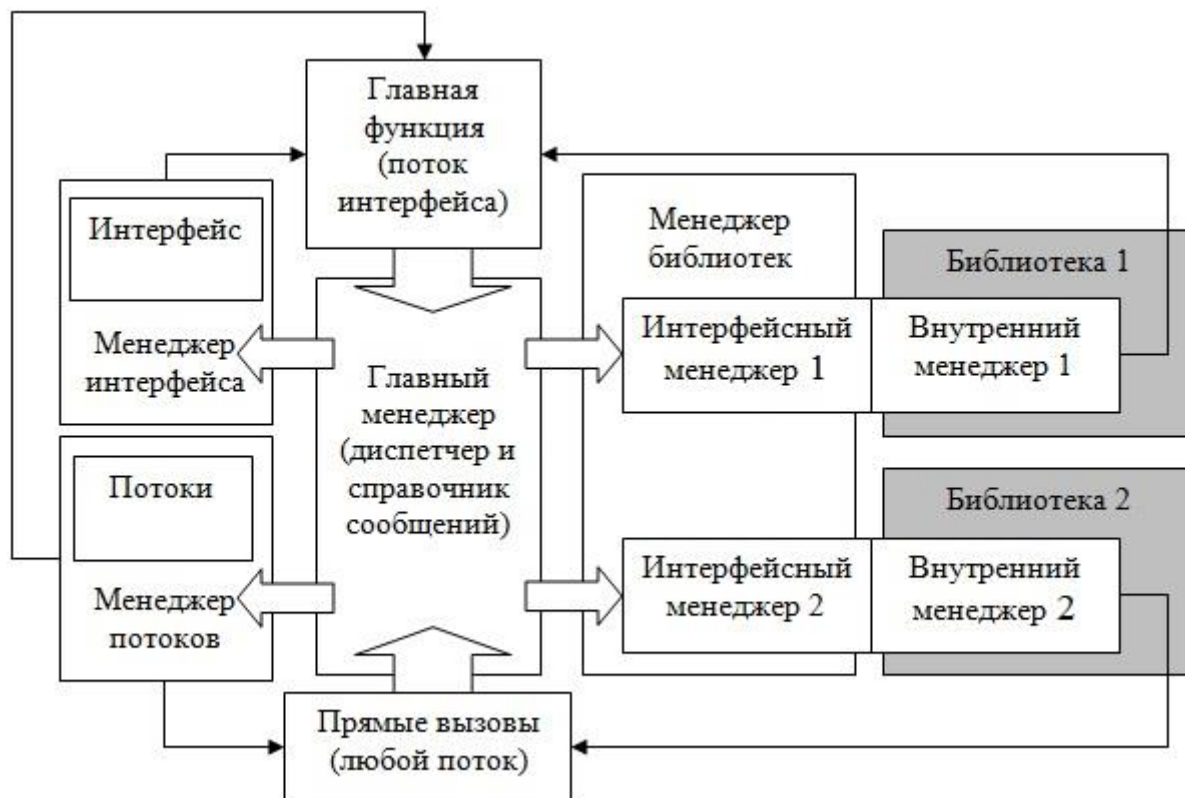


Рис. 2 - Взаимосвязь менеджеров сообщений проекта

Таким образом, предложена новая инфраструктура среды функционально-объектного программирования «Алгозит», которая позволяет использовать потоки для параллельного выполнения операций функционально-объектных программ. Предложенный подход позволил использовать незадействованные вычислительные ресурсы компьютера, ограничившись при этом расширением общей архитектуры комплекса без существенной переработки программ-компонентов.

Список литературы:

1. *Каледин В.О.* Алгоритмизация математических моделей [текст]: учеб. пособие / В. О. Каледин, Е. И. Васильева, Е. С. Вякин; М-во образования и науки Рос. Федерации, Новокузнец. ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та — Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2018. — 80 с.
2. *Паульзен А.Е.* Разработка и апробация программного пакета для задач расчёта динамического деформирования многослойных преград при ударе / А. Е. Паульзен // Инженерный вестник дон — Ростов-на-Дону, 2019 — вып. 57 — с. 32.
3. *Вякин Е.С.* Разработка математической модели статического деформирования слоистых конструкций с несжимаемыми слоями. / Е. С. Вякин, В. О. Каледин, Е. В. Решетникова, Е. В. Вякина, А. Е. Гилёва // Вестник томского государственного университета. Математика и механика — Томск, 2018 — вып. 55 — с. 72-83.
4. *Каледин В.О.* Концепции языка программирования «Ядро» [Текст]:метод. указ. / В.О. Каледин; НФИ КемГУ, — Новокузнецк,2010. — 47 с.

05.13.18

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко

Самарский государственный медицинский университет,
Лидирующий исследовательский центр,
реализующий дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии
«Технологии виртуальной и дополненной реальности»,
Самара, anton.ivashenko@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ РУК В ПРИЛОЖЕНИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

Статья посвящена проблеме моделирования движения рук как части интеллектуального решения для медицинской и социальной реабилитации, основанного на реализации виртуальной реальности с тактильной обратной связью. Предложенная математическая модель используется для съема движения траектории пальцев кисти и воспроизведения движения суставов в виртуальном пространстве. Реализация модели позволяет воспроизводить и визуализировать действия рук пациента в среде виртуальной реальности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, моделирование мелкой моторики рук, нейрореабилитация.

Применение технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) является перспективным направлением развития медицинской и социальной реабилитации. Современные пользовательские интерфейсы способны имитировать высоко-реалистичные сцены, помогающие пациентам в процессе адаптации и восстановления здоровья. Особенно это требуется для психологической реабилитации, направленной на преодоление мысли о невозможности добиться положительного результата каким-либо лечением.

В данной статье представлен программно-аппаратный комплекс, основанный на применении технологии VR/AR для решения задачи восстановления функции кисти и пальцев рук. Важным компонентом решения является математическая модель руки, предназначенная для съема движения траектории пальцев кисти и воспроизведения движения суставов в виртуальном пространстве.

Восстановление мелкой моторики рук является сложной и актуальной задачей нейрореабилитации [1]. Как правило, подобные двигательные нарушения возникают в результате последствий инсульта, причем восстановление функции верхней конечности происходит в более поздние сроки, часто оставаясь единственной причиной инвалидности. Повторяющиеся и интенсивные тренировки с использованием виртуальных стратегий и интерактивной визуализации с обратной связью ускоряют восстановление.

В то же время возможности решения этой проблемы остаются ограниченными из-за высокой стоимости специализированного оборудования и отсутствия методики обучения, учитывающей индивидуальные особенности пациентов. Кроме того, среди существующих робототехнических технологий восстановления верхней конечности недостаточно методов, направленных на восстановление дистальных отделов руки, кисти и пальцев.

Для решения этой проблемы в настоящее время используются сенсорные перчатки [2, 3]. Этот метод интересен пациенту, повышает мотивацию к реабилитации за счет вовлечения его личности. Данные наблюдений свидетельствуют о том, что восстановление мелкой моторики руки резко увеличивает уровень использования паретической конечности, что, в свою очередь, улучшает функциональное восстановление.

Реализация сцен виртуальной реальности [4, 5] также открывает новые возможности для вовлечения пользователя в процесс реабилитации. Позиционное отслеживание фиксирует положение руки в пространстве и в то же время меняет сцену виртуальной реальности в VR

очках в зависимости от позы человека. Рекомендуется использовать виртуальную реальность с тактильной обратной связью, а также оптические и резистивные системы слежения. Сочетание процесса реабилитации и тактильной биологической обратной связи позволяет добиться положительного реабилитационного результата.

Кроме этого, двигательные навыки, полученные при обучении в дополненной реальности, должны быть перенесены в реальную среду [6 - 8]. Для этого необходимо воспроизводить движения пользователя в виртуальном пространстве с помощью специализированных моделей. Вибротактильная обратная связь также хорошо воспринимается пользователями [9] и помогает повысить эффективность решения.

Для разработки модели движения руки, способной решать реабилитационные задачи, была использована концепция иммерсивной виртуальной реальности [10]. Эта реальность генерируется в сознании человека в процессе взаимодействия со сложными техническими системами, например, средой виртуальной реальности. Данная концепция предполагает чувственно оформленное пространство, в котором действует человеческая воля, воплощенная в одном из образов виртуальной реальности. В результате компьютерная иммерсивная виртуальная реальность характеризуется такими свойствами как интенсивность, интерактивность, погружение, иллюстративность и интуитивность.

Отслеживание движения руки – это подобласть распознавания образов, используемая для фиксации пространственного положения пальцев и построения их высокоточных трехмерных отображений в реальном времени.

Моделирование реалистичного движения руки в виртуальном пространстве достигается за счет объединения трекинга пальцев с определением их пространственного положения. Основное требование к модели состоит в обеспечении естественного изменения трехмерной картины, которое интуитивно воспринимается пациентом как адекватное.

В качестве оценки функционального состояния модели руки, как правило, используются некоторые результирующие показатели движения:

- расстояние между кончиками пальцев и ладонью при максимально возможном сгибании пальцев;
- расстояние между кончиками большого и указательного пальцев, когда они сомкнуты,
- результирующая сила захвата и т.д.

Биомеханические параметры для исследования движений отдельных суставов пальцев с целью получения численных оценок их патологического состояния включают:

- углы отведения большого пальца и мизинца;
- объем движений в запястье и пястном суставе большого пальца;
- объем движений в плюсне-фаланговых суставах;
- углы сгибания всех пальцев;
- угол сгибания лучезапястного сустава.

С учетом этих особенностей была разработана кинематическая модель руки (см. Рис. 1). Данная модель может использоваться как для воспроизведения движения пальцев в трехмерной среде, так и собственно для их визуализации. В процессе полной или частичной визуализации виртуальные руки являются аватаром пользователя и создают эффект присутствия.

Моделирование перемещения фаланг пальцев рук при их типовых движениях производится путем манипулирования определенными коэффициентами, характеризующими углы между фалангами (см. Рис. 3). Информация о текущих координатах фаланг поступает от соответствующих датчиков сенсорной перчатки и преобразуется в углы поворота. Эти углы применяются к модели руки, после чего смоделированная рука начинает перемещаться в среде виртуальной реальности, идентично реальной руке, с которой берутся данные.

Предлагаемое решение позволяет достичь точности и адекватности движений, достаточных для удовлетворения требований приложений медицинской реабилитации.

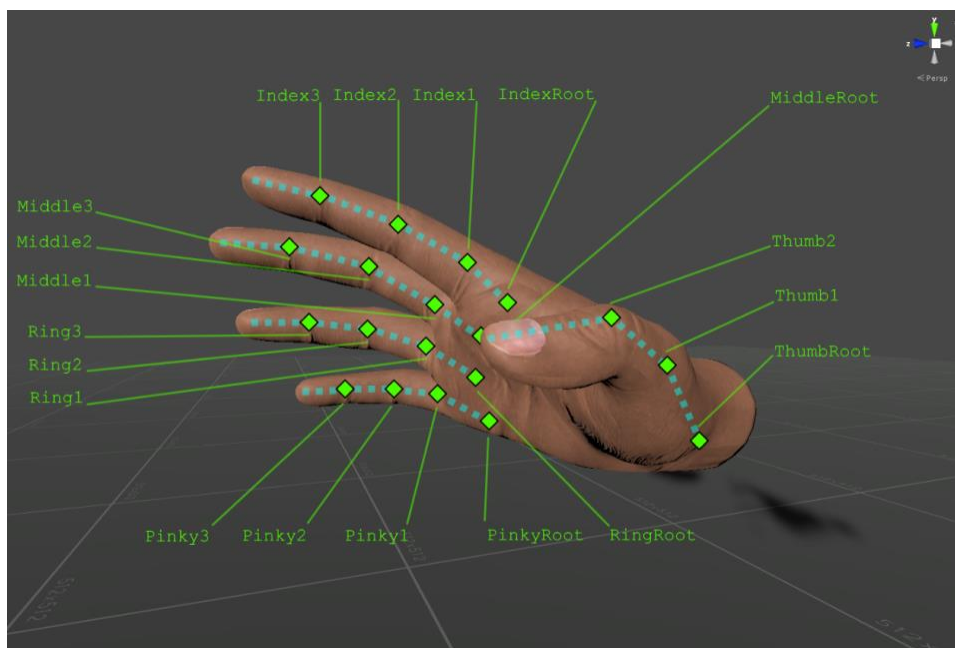


Рис. 1 - Модель руки в трехмерном пространстве



Рис. 2 - Результат моделирования движений пальцев

Для проведения реабилитации с использованием разработанного комплекса была предложена методика, состоящая из двух тестов. Все действия выполняются на специально сконструированном стенде (см. Рис. 3) при записи ЭЭГ. Испытуемый сидит прямо перед столом (руки при этом располагаются на столе ладонями вниз).

Первое упражнение проводится для контрольного анализа и содержит операции, выполняемые без устройства виртуальной реальности: субъект видит физические прототипы объектов. Алгоритм движения предусматривает перемещение заданного объекта с подставки в помеченную зону.

Второе упражнение выполняется с использованием технологии реабилитации. Субъект надевает шлем виртуальной реальности и наблюдает трехмерные модели объектов, размещенных на стенде, а также свои руки.



Рис. 3 - Стенд виртуальной реальности для нейрореабилитации

Предлагаемое решение позволяет достичь точности и адекватности движений, достаточной для удовлетворения требований приложений медицинской реабилитации.

Благодарности

*Результаты получены в рамках реализации программы деятельности
Лидирующего исследовательского центра, реализующего дорожную карту по «сквозной»
цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» при финансовой
поддержке Минкомсвязи России и АО "РВК" (Договор о предоставлении гранта
№003/20 от 17.03.2020 г., идентификатор соглашения о предоставлении
субсидии - 0000000007119P190002).*

Список литературы

1. Aramaki A., Sampaio R., Reis D., Cavalcanti A., Silva e Dutra F. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review // *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 77. – 2019. - pp. 268 – 278
2. Borja E.F., Lara D.A., Quevedo W.X., Andaluz V.H. Haptic stimulation glove for fine motor rehabilitation in virtual reality environments // *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics LNCS*, 10851. – 2018. - pp. 211 – 229
3. Rajendran D., Da R., Torres V., Hu Z., Ramalingame R., Al-Hamry A., Kanoun O. Electronic motion capture glove based on highly sensitive nanocomposite sensors // *16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD'19)*. – 2019. - pp. 494 – 497
4. Tieri G., Morone G., Paolucci S., Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies // *Expert Review of Medical Devices*, 15:2. – 2018. - pp. 107 – 117
5. Virtual and Augmented reality: concepts, methodologies, tools and applications. Information resources management association, IGI Global USA, 2018, 1845 p.
6. Liu J., Mei J., Zhang X., Lu X., Huang J. Augmented reality-based training system for hand rehabilitation". *Multimedia Tools and Applications*, 76(13). – 2017. - pp. 14847 – 14867
7. Hossain M.S., Hardy S., Alamri A., Alelaiwi A., Hardy V., Wilhelm C. AR-based serious game framework for post-stroke rehabilitation // *Multimedia Systems*, 22. – 2016. - pp. 659 – 674
8. Condino S., Turini G., Viglialoro R., Gesi M., Ferrari V. Wearable augmented reality application for shoulder rehabilitation // *Electronics*, 8, 1178. – 2019. - pp. 1 – 16
9. Viglialoro R.M., Condino S., Turini G., Carbone M., Ferrari V., and Gesi M. Review of the augmented reality systems for shoulder rehabilitation // *Information*, 10, 154. – 2019. - pp. 1 – 14
10. Fong J., Ocampo R., Tavakoli M. Intelligent robotics and immersive displays for enhancing haptic interaction in physical rehabilitation environments // *Haptic Interfaces for Accessibility, Health, and Enhanced Quality of Life*. – 2020. - pp. 265 – 297

05.13.18

Т.О. Корепанова канд. физ.-мат. наук, Е.А. Николаева канд. физ.-мат. наук

Пермский военный институт войск национальной гвардии РФ,
кафедра общетехнических дисциплин,
Пермь, ton@icmm.ru

МЕТОДИКА ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА–КОЛЬСКОГО

В статье предложена новая схема разрезного стержня Гопкинсона–Кольского. Однократное нагружение позволяет исследовать микроструктуру материала образца в результате деформирования динамическим сжатием. Также становится возможным определение некоторых термодинамических характеристик.

Ключевые слова: сжатие, разрезной стержень Гопкинсона–Кольского, микроструктура; термодинамика.

Для изучения поведения материала в диапазоне скоростей деформации от 500 до 5000 с⁻¹ с середины двадцатого века широкое распространение в экспериментальной среде получил разрезной стержень Гопкинсона–Кольского. Это экспериментальное оборудование было предложено в работе Б. Гопкинсона (Bertram Hopkinson, 1874–1918). В дальнейшем Г. Кольский модернизировал данный метод, разделив один стержень на две части [1].

С тех пор в обычный комплект оборудования разрезного стержня Гопкинсона–Кольского входят два стержня (входной и выходной), газовая пушка, ударник и регистрирующая аппаратура (чаще всего используются тензодатчики либо инфракрасная камера) (Рис. 1). Образец в форме диска небольшой толщины зажимается между входным и выходным стержнями. Ударник сталкивается с входным стержнем и передает в него импульс сжимающего напряжения. Часть импульса проходит в образец, другая часть отражается от него. Данные импульсов деформации регистрируются, далее в зависимости от поставленной исследователем задачи строятся диаграммы напряжение–деформация для материала при различных скоростях деформации либо при изменении температуры [2].



Рис. 1 - Обычная схема разрезного стержня Гопкинсона–Кольского

Экспериментальное оборудование в данном виде нельзя применять для микроструктурных исследований. История деформирования получается крайне запутанной, так как образец подвергается ударным волнам, которые многократно отражаются от свободных концов стержней. В работе [3] была предложена модификация оборудования, полностью устранившая этот недостаток.

Основная идея модификации состоит в том, что используется труба, которая поглощает все отражённые импульсы, движущиеся к образцу, предотвращая повторные удары (Рис. 2). Между фланцем и трубой имеется зазор строго определенной длины, который закрывается за то же самое время, как начальный импульс сжимающего напряжения полностью проходит во входной стержень.

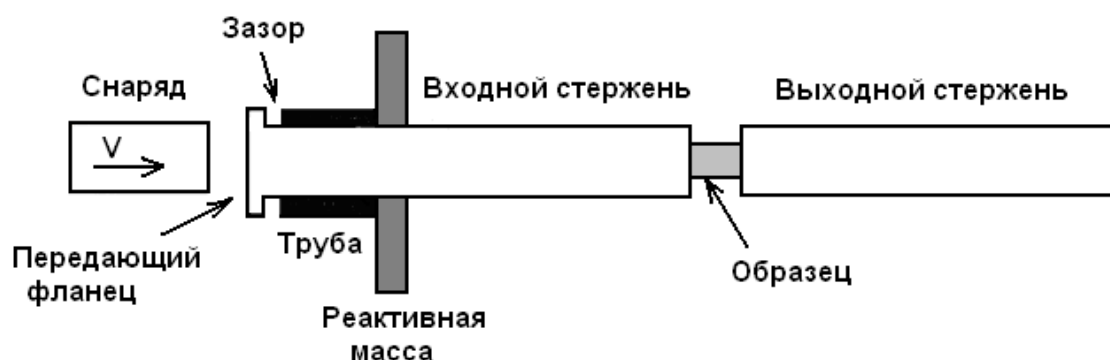


Рис. 2 - Схема для испытаний на сжатие [3].

В работе [4] предлагается усовершенствованная методика извлечения образца после однократного удара (методика UCSD), позволяющая измерять изотермический предел текучести металлов в широком диапазоне температур и скоростей деформации.

Также существует модификация экспериментального оборудования для однократного нагружения образцов [5, 6], в которой выходной стержень значительно короче входного.

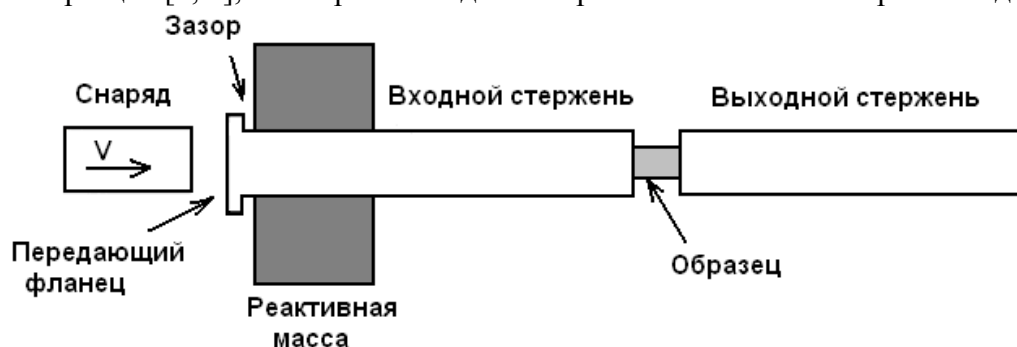


Рис. 3 - Техника однократного удара для испытаний на сжатие.

В работе [7] используется разновидность разрезного стержня Гопкинсона–Кольского (Рис. 3), в корне отличающаяся от остальных, описанных выше. В ней используется реактивная масса, рассогласованная по импедансу со стержнем. Между фланцем и реактивной массой на входном стержне устанавливается зазор, соответствующий заданной скорости ударника, который закрывается, в то время как начальный импульс сжимающего напряжения полностью проходит во входной стержень. Реактивная масса поглощает импульс растяжения и обеспечивает отдачу входного стержня. Таким образом в результате однократного деформирования образца оба стержня раздвигаются, и образец высвобождается без скольжения по торцам входного и выходного стержней. При этом не происходит обмена теплом, что обеспечивает адиабатические условия эксперимента.

Также разрезной стержень Гопкинсона–Кольского кроме своего основного применения для испытаний на сжатие или сдвиг является перспективной техникой для исследования термодинамических характеристик материалов при пластическом деформировании [8–10].

Список литературы

1. Kolsky H. Stress waves in solids. – Oxford: Oxford University Press, 1953.
2. Nemat-Nasser S., Li Y.-F., Isaacs J.B. Experimental/computational evaluation of flow stress at high strain rates with application to adiabatic shear banding // *Mechanics of Materials*. – 1994. – V. 17. – P. 111-134.
3. Nemat-Nasser S., Isaacs J.B., Starrett J.E. Hopkinson techniques for dynamic recovery experiments // *Proc. R. Soc. Lond.* – 1991. – V. A435. – P. 371-391.
4. Nemat-Nasser S., Isaacs J.B. Direct measurement of isothermal flow stress of metals at elevated temperatures and high strain rates with application to Ta and Ta-W alloys // *Acta materialia*. – 1997. – V. 45, No 3. – P. 907 – 919.
5. Chen W., Ravichandran G. Dynamic compressive failure of a glass ceramic under lateral confinement // *J. Mech. Phys. Solids*. – 1997. – V. 45, no. 8. – P. 1303-1328.
6. Chen W.W., Wu Q.P., Kang J.H., Winfree N.A. Compressive superelastic behavior of a NiTi shape memory alloy at strain rates of 0.001-750 s⁻¹ // *J. Solids Structures*. – 2001. – V. 38. – P. 8989-8998.
7. Баранников В.А., Николаева Е.А., Касаткина С.Н. Термодинамические аспекты высокоскоростного деформирования меди // *Деформация и разрушение материалов*. – 2005. – № 3. – С. 16-19.
8. Баранников В.А., Николаева Е.А., Касаткина С.Н. Экспериментальное изучение термодинамики нагруженной меди // *Физ. мезомех.* – 2005. – Т. 8, № 2. – С. 107-112.
9. Баранников В.А., Николаева Е.А. Роль зеренных границ в формировании энергетического баланса динамически нагруженной меди // *Физ. мезомех.* – 2008. – Т. 11, № 5. – С. 71-76.
10. Корепанова Т.О., Николаева Е.А., Оборина И.А. Определение термодинамических характеристик при высокоскоростных испытаниях на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2019. – № 12. – С. 200-202.

05.13.18

Д.В. Ложкин, П.В. Максимов канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет Прикладной математики и механики,
кафедра Вычислительной математики, механики и биомеханики,
Пермь, denvmm@yandex.ru, pvmperm@mail.ru

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В РОССИИ НА ОСНОВЕ ОБЗОРА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

В работе проведен анализ публикаций, посвященных проблемам топологической оптимизации. Материалом для анализа послужили статьи, опубликованные за период с 2015 по 2020 гг. В работе отражены исследовательские организации и научные коллективы, занимающиеся проблемами топологической оптимизации в России, представлено распределение работ по объектам исследований, применяемым алгоритмам и программному обеспечению. Даны ссылки на полный перечень работ по тематике.

Ключевые слова: *топологическая оптимизация, оптимальное проектирование, численные методы, механика.*

Одними из популярных сегодня алгоритмов оптимизации для снижения веса изделий являются алгоритмы топологической оптимизации, которые, в отличие от параметрической оптимизации, не предусматривают предварительного выбора ограниченного набора варьируемых параметров, что придает им большую гибкость, позволяет в итоге получать топологии, которые превосходят по качеству типовые решения, привычные для инженеров-конструкторов [1*-4*]. В данной работе будет предпринята попытка оценить основные тенденции, направления развития и применения методов топологической оптимизации, применяемых российскими учеными, выполненная на основе анализа публикаций, представленных в РИНЦ, информация о которых представлена на ресурсе www.elibrary.ru. Поиск научных статей по тематике осуществлен по ключевым словам «**топологическая оптимизация**». Источники «со звездочками» [1*-4*] приведены ниже в списке литературы. Используемые далее источники не приводятся в списке литературы к данной работе по причине их большого числа (более 150). В заключении работы будет дана ссылка на внешний ресурс, где представлен полный список используемых источников. В работе выполнен обзор публикаций за последние 5 лет.

Исследования в области топологической оптимизации начали активно развиваться с 2015 года (рис. 1). Особенно плодотворными вышли 2017-2019 годы, с годами наблюдается рост числа публикаций, так количество статей в 2018 году выросло в 1.8 раза, по сравнению с 2017, а в 2019 году было написано в 1.6 раза больше статей, чем в 2018 году. Временный спад в 2020 году скорее всего связан с тем, что год еще не закончен и некоторые статьи на дату анализа находятся в стадии подготовки к опубликованию.

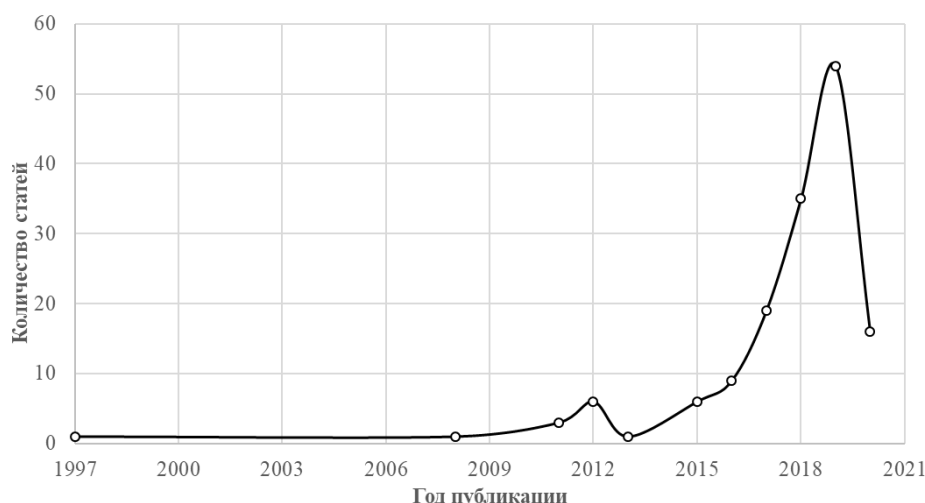


Рис. 1 – Зависимость количества публикаций от года издания

Распределения по городам: Исследованиями в области топологической оптимизации занимаются специалисты из различных городов России и стран СНГ. Активно ведутся разработки в Москве, Самаре, Перми, Санкт-Петербурге.

Статьи, опубликованные в различных городах

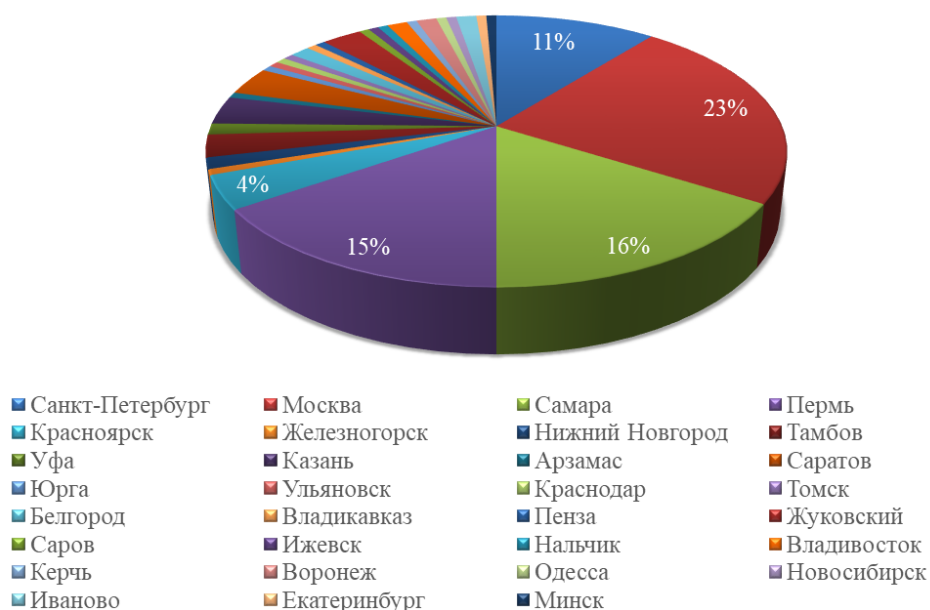


Рис. 2 – Статьи, подготовленные авторами из различных городов России

Почти четверть (23%) из проанализированных публикаций принадлежит ученым из Москвы. Самарские и пермские труды занимают 16% и 15% от всех работ соответственно. Статьи, подготовленные в Санкт-Петербурге, составляют 11% от общего числа публикаций.

Распределение по исследовательским организациям: Наибольшее количество работ представлено сотрудниками ПНИПУ, МГТУ им. Баумана, СНИУ им. Королева (Таблица 1).

Таблица 1. Распределение публикаций по организациям

Город	Научные организации
Москва	МГТУ им. Баумана (20 шт.), МАИ (4 шт.), ЦИАМ им. Баранова (4 шт.), ЗАО КАДФЕМ Си-Ай-Эс (3 шт.), АО Корпорация МИТ (2 шт.), ООО Easar (1 шт.), ФНАЦ ВИМ (1 шт.), НИЯУ МИФИ (1 шт.), ГKNПЦ (1 шт.)
Самара	СНИУ Королева (СГАУ) (18 шт.), АО РКЦ Прогресс (2 шт.), ПАО Кузнецов (1 шт.)
Пермь	ПНИПУ (24 шт.), АО Редуктор-ПМ (1 шт.), ПГНИУ (1 шт.), ПВИВНГРФ (1 шт.)
Санкт-Петербург	СППУ Петра Великого (5 шт.), ПГУПС (2 шт.), СПГМТУ (2 шт.), БГТУ ВОЕНМЕХ им. Устинова (2 шт.), СПИИРАН (1 шт.), АО КБ Арсенал им. Фрунзе (1 шт.), СПГПУ (1 шт.), ЦНИИМ (1 шт.), КГНЦ (1 шт.), ВКА им. Можайского (1 шт.)

Ключевыми авторами являются: Максимов П.В., Кротких А.А. (г. Пермь), Кишов Е.А., Куркин Е.И., Спирина М.О. (г. Самара).

Распределение по объектам исследования: Большинство решаемых задач топологической оптимизации имеют прикладной характер. Спектр прикладных задач охватывает:

- силовые конструкции [1-39];
- корпусные детали [40-47];
- детали летательных аппаратов [48-63];
- детали космических аппаратов [64-69];
- детали конструкций транспортных средств [70-78];
- строительные конструкции [79-101];
- судовые конструкции [102-104];
- стержневые структуры [105-107];
- прочее [109-121, 123].

Распределение количества публикаций в зависимости от назначения объекта приведено на рис. 3.



Рис. 3 – Спектр задач топологической оптимизации по объектам исследования

Распределение по алгоритмам оптимизации: Чаще всего топологическая оптимизация проводится с помощью SIMP метода [5, 14, 18, 32, 43, 48, 62, 66, 80, 97, 100-104, 123, 124, 126]. Идея данного метода заключается в создании поля виртуальной плотности (псевдоплотности), которая влияет на модуль упругости материала. Иной подход у level-set метода, который использует идеологию неявного задания граничных линий и поверхностей

посредством функций, линий (или поверхностей) уровня, которые определяют интерфейсную границу. Подобный подход к решению задач топологической оптимизации отражен в работах [48, 52, 52, 102, 127, 128]. У этих методов есть как свои преимущества, так и недостатки. В связи с этим в настоящее время ученые все чаще используют комбинированные методы или методы собственной разработки [19, 51, 59, 87, 93, 95, 129-132].

В целом, количественное упоминание методов топологической оптимизации в российских публикациях следующее: метод SIMP – 18 шт., собственная авторская методика - 10 шт., Level-Set - 6 шт., метод BESO - 3 шт., ESO - 2 шт., PTO - 1 шт., однако в подавляющем большинстве публикация данных об используемом методе оптимизации приведено не было.

Распределение по используемому программному обеспечению: Самым часто упоминаемым программным обеспечением для проведения топологической оптимизации на данный момент оказался ANSYS [2, 4, 6-9, 12, 14, 16, 21, 23, 24, 26, 28, 31, 33, 35, 40, 42, 46, 64, 72, 77, 78, 80, 84, 85, 88, 90, 91, 105, 106, 109, 113, 114, 123, 129, 133-135]. Реже используются: Altair [37, 67, 68, 112], MSC.Patran/Nastran [20, 29, 66, 136], Siemens NX [25, 89, 115], Autodesk Fusion 360 [36, 39, 86], Solidworks [15, 137], APM [47, 94]. Кроме того, сейчас все чаще ученые разрабатывают собственные методики топологической оптимизации, которые кодируют на различных языках программирования [19, 51, 52, 87, 93, 97, 98, 101, 102, 107, 111, 119, 127, 128, 131, 132, 138-140].

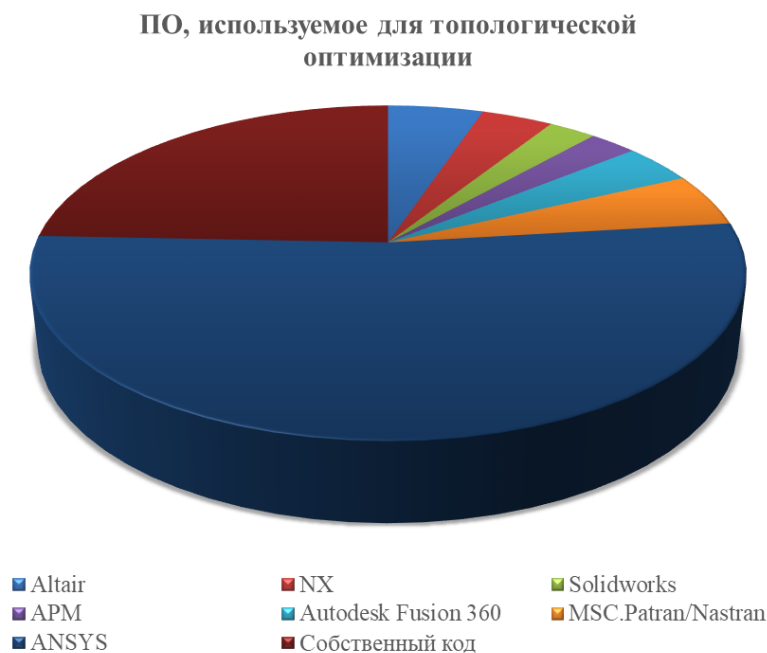


Рис. 4 – Программное обеспечение, используемое для топологической оптимизации

В заключении следует дополнительно отметить, что обзор тематики был проведен только на основании публикаций, представленных в РИНЦ, при этом, не осуществлялся поиск публикация по близким ключевым словам, таким как «бионическое проектирование», «генеративный дизайн» и пр. Зарубежные публикации в анализе не участвовали, поиск по международным базам цитирования следует вести с использованием более узких критериев. При анализе отмечен следующий важный факт – публикации российских авторов зачастую описывают использование известных методов топологической оптимизации, их применение для решения практических прикладных задач, в то время как зарубежные авторы освещают как вопросы применения, так и разработки новых эффективных численных алгоритмов, их работы имеют, в том числе, фундаментальный характер.

Проведенное исследование основано на 151 публикации, информация о которых представлена в РИНЦ с 2015 по 2020 годы.

Полный список рассматриваемых публикаций можно скачать по ссылке: www.pmzone.ru/files/TopoOptimization_references.docx

Таблицу, включающую полный перечень выходной информации по каждой рассматриваемой публикации, в том числе, ключевые слова и аннотации к работам, можно скачать по ссылке: www.pmzone.ru/files/TopoOptimization_table.xlsx

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Список литературы

1. Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 71, 1988. p.197-224.
2. Wang M., Wang X., and Guo D., "A level set method for structural topology optimization," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., vol. 192, pp. 227–246, 2003.
3. Реализация алгоритма на базе Level-Set метода для решения задачи топологической оптимизации авиационных деталей / Максимов П.В., Кротких А.А., Ронжин Б.И. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 9. С. 107-110.
4. Zhang W., Li D., Zhou J., Du Z., B. Li, and X. Guo, "A Moving Morphable Void (MMV)-based explicit approach for topology optimization considering stress constraints," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., no. Mmv, 2018.

05.13.18

Д.В. Ложкин, П.В. Максимов канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет Прикладной математики и механики,
кафедра Вычислительной математики, механики и биомеханики,
Пермь, denvmm@yandex.ru, pvmperm@mail.ru

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КРОНШТЕЙНА В ANSYS

В работе выполнена топологическая оптимизация кронштейна, используемого в авиационной отрасли. Оптимизация детали проводилась в программной системе ANSYS. В работе представлена математическая постановка задачи топологической оптимизации, описаны основные этапы решения задачи, в том числе, выполнение самой оптимизации, геометрического перепроектирования детали, проверочных прочностных расчетов, оценки на потерю устойчивости. Полученная топология обладает наибольшей жесткостью при заданной массе и ограничении на интенсивность напряжений. Масса полученной в результате топологической оптимизации облегченной детали снижена на 36%.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, оптимальное проектирование, минимизация массы, кронштейн, метод SIMP, ANSYS.

Снижение веса деталей особенно актуально в области авиадвигателестроения и космической отрасли [1]. Задачей топологической оптимизации конструкции является определение оптимального с точки зрения используемой целевой функции распределения материала в области проектирования при заданных ограничениях. При решении задач топологической оптимизации чаще всего применяется метод SIMP, разработанный М.Р. Bendsoe и N. Kikuchi [2]. Известны также и другие методы топологической оптимизации, например [3-5].

Метод SIMP заключается в использовании сетки конечных элементов, в которой каждому элементу ставится в соответствие определенное значение псевдоплотности ρ_e . Псевдоплотность определяет наличие или отсутствие материала: $\rho_e^{\min} = 0$ – материал полностью отсутствует, $\rho_e^{\max} = 1$ – материал полностью присутствует. Значения, лежащие в интервале от $\rho_e^{\min}$ до $\rho_e^{\max}$, должны быть сведены к минимуму.

Целью оптимизации в данном расчете является минимизация податливости C детали при заранее заданной величине массы детали, при этом варьируемыми параметрами является значение псевдоплотности в каждом конечном элементе, то есть:

$$\min C(\{\rho\}) = \sum_{e=1}^N (\rho_e)^p [u_e]^T [K_e] [u_e], \quad (1)$$

где $p = 3$ – коэффициент, вводимый для уменьшения доли «серой» топологии (топологии с промежуточной плотностью в интервале $[0,1]$); N – количество конечных элементов e ; $[u_e]$ – это вектор узловых неизвестных (перемещений) конечного элемента; $[K_e]$ – матрица жесткости конечного элемента; $\{\rho\}$ – вектор псевдоплотности, содержащий псевдоплотности всех элементов ρ_e .

Расчет проводится в программной системе ANSYS. Оптимизационный алгоритм является итерационным.

На целевую функцию податливости накладываются следующие виды ограничений:

1) целевое ограничение массы

$$\sum_{e=1}^N \{v_e\}^T \rho_e \leq M_{\text{target}}, \quad (2)$$

где V_e – объем конечного элемента, M_{target} – заранее заданная целевая масса детали;

2) уравнение равновесия, сформулированное в матричной постановке метода конечных элементов:

$$[K\{\rho\}]\{u\} = \{F\}, \quad (3)$$

где $[K\{\rho\}]$ – глобальная масштабированная матрица жесткости; $\{u\}$ – вектор узловых неизвестных (перемещений); $\{F\}$ – узловой вектор внешних сил;

3) ограничение по напряжениям

$$\sigma_{\max} \leq \frac{\sigma_T}{S}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальные, эквивалентные по Мизесу напряжения, возникающие в кронштейне; σ_T – предел текучести материала; S – коэффициент запаса прочности.

Каждому элементу соответствует свой модуль упругости материала, который зависит от коэффициента относительной плотности ρ_e и модуля упругости исходной модели материала E_0 :

$$E(\rho_e) = \rho_e^p E_0. \quad (5)$$

Снижение модуля упругости элемента приводит к снижению его жесткости. В связи с этим, необходимо проводить масштабирование матрицы жесткости:

$$[K\{\rho\}] = \sum_{e=1}^N [\rho_0 + (1 - \rho_0) \rho_e^p] K_e, \quad (6)$$

где ρ_0 – минимальное значение относительной плотности, отличное от нуля.

Топологическая оптимизация проводится для кронштейна, выполненного из алюминиевого сплава AlSi10Mg. Требуется снизить массу детали до некоторой заданной величины, при этом возникающие в кронштейне напряжения по Мизесу не должны превышать 185 МПа (коэффициент запаса прочности $S = 1.5$) при расчетной нагрузке. Оптимизацию топологии нецелесообразно проводить на исходной геометрии, так как алгоритм оптимизации будет ограничен предоставленным объемом и может не дать топологий, обладающих большой жесткостью. Чтобы предоставить решателю больше возможностей для поиска конечной топологии, необходимо расширить расчетную область посредством увеличения объема исходной детали (рис.1). Однако следует задавать только такую расчетную область, которая бы не пересекалась с другими деталями, располагаемыми в сборке рядом с перепроектируемым кронштейном в составе итогового изделия.

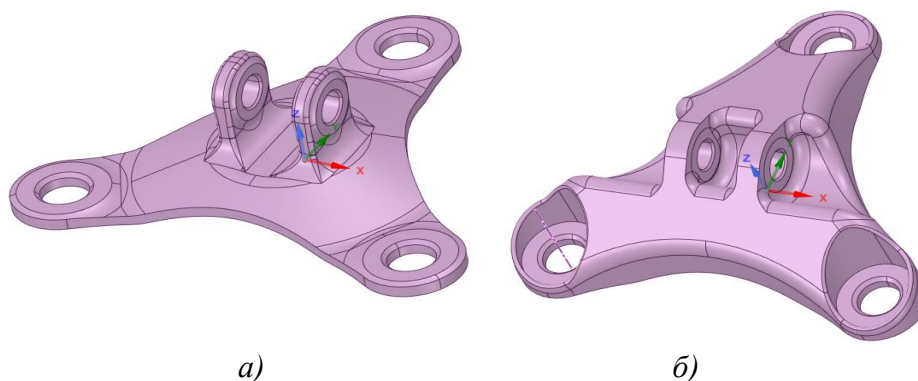


Рис. 1 – Геометрия кронштейна: а) – исходная; б) – расчетная с увеличенным объемом

Кронштейн крепится неподвижно к основанию. (на рис.1 не показано) при помощи болтового соединения на краях трех лапок. Нагрузка на кронштейн передается через центральные ушки. Известны три различных независимых друг от друга случая нагружения, при которых результирующая сила, прикладываемая к ушкам, имеет различное направление и величину:

- случай нагружения 1: $P_x=0$ Н, $P_y=800$ Н, $P_z=1000$ Н;
- случай нагружения 2: $P_x=700$ Н, $P_y=500$ Н, $P_z=700$ Н;
- случай нагружения 3: $P_x=1500$ Н, $P_y=0$ Н, $P_z=0$ Н;

система координат, в которой указаны проекции действующей на кронштейн результирующей силы P на оси Ox , Oy , Oz . показана на рис.1.

В процессе топологической оптимизации производится поиск топологии под конкретные нагрузки и закрепления, поэтому если проектировать кронштейн независимо для каждого из трех заданного случая нагружения, то результирующая топология в каждом случае будет отличаться, при этом может получиться так, что кронштейн, спроектированный под один из случаев нагружения, не сможет выдержать другие варианты нагрузок. Поэтому алгоритм топологической оптимизации должен позволять учитывать одновременно все известные случаи нагружения, при этом, они должны учитываться независимо, а не в виде суперпозиции всех нагрузок разом.

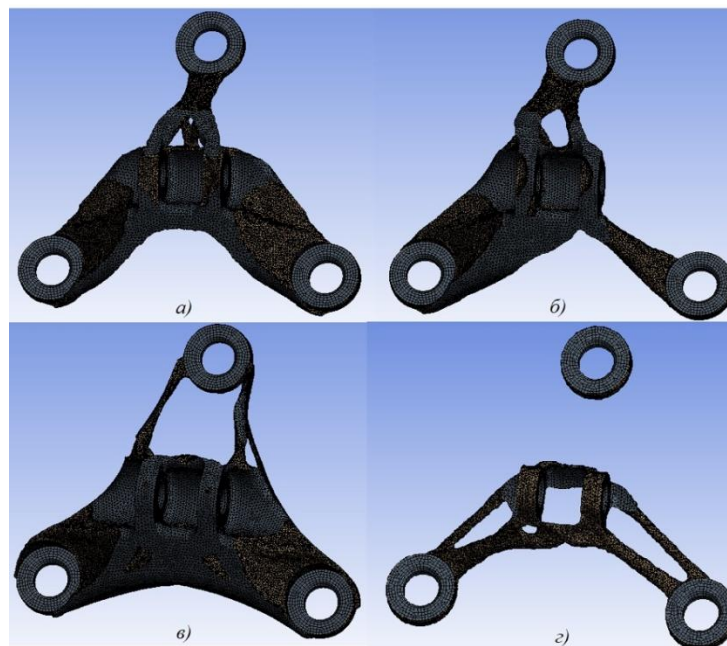


Рис. 2 – Конечно-элементная модель кронштейна после топологической оптимизации:

- а) случай нагружения 1; б) случай нагружения 2; в) случай нагружения 3;
г) учитываются все случаи нагружения.

На рис.2а-2в показаны примерные недоработанные варианты топологии кронштейна независимо для каждого расчетного случая, на рис.2г приведена топология, учитывающая

все три вида нагружения, при которой, возможно, будут выполнены все заданные ограничения по массе и интенсивностям напряжения, требуется проведение дополнительных проверочных расчетов.

Анализ представленной на рис.2г топологии показывает, что при заданных случаях нагружения, массе изделия и ограничениях по напряжениям, достаточно крепления кронштейна к основанию только в двух местах. Полученная при оптимизации конечно-элементная модель не пригодна ни для проверочных расчетов, ни для изготовления детали на производстве, даже если речь идет про изготовление при помощи аддитивных технологий. Необходима конструкторская доработка геометрии, следует сгладить полученную топологию и провести верификационный прочностной расчет оптимизированной детали (рис. 3). Сглаженная с использованием CAD-пакета SpaceClaim STL-модель оптимизированного кронштейна представлена на рис.3а.

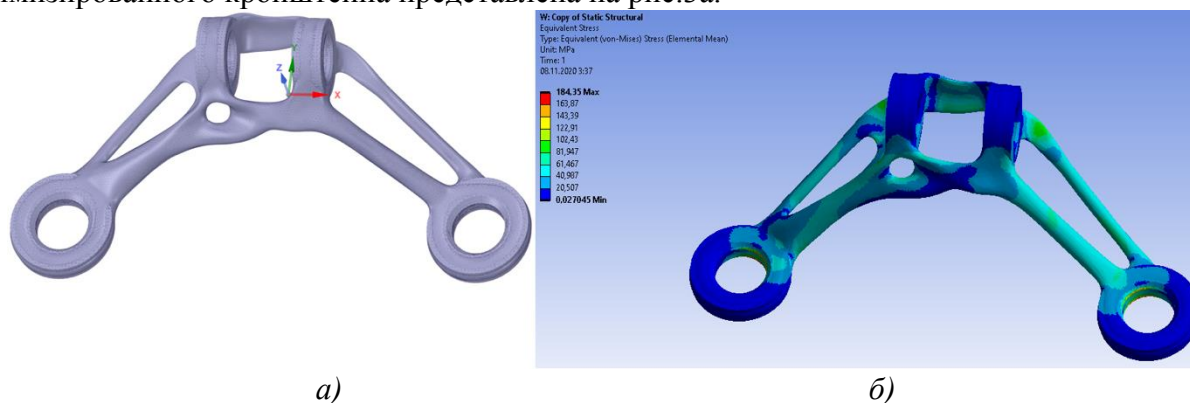


Рис. 3 – а) сглаженная CAD-модель;

б) интенсивность напряжений при самом неблагоприятном нагружении

На рис.3а видим, что итоговый перепроектированный кронштейн имеет длинные тонкие элементы, которые при некоторых случаях нагружения могут работать на сжатие, при этом, возможна потеря устойчивости данных элементов. Так как критерии устойчивости не являлись ограничениями на целевую функцию при топологической оптимизации, необходимо отдельно выполнить анализ кронштейна на потерю устойчивости. Выполненный отдельно для всех трех случаев нагружения в пакете ANSYS анализ на линейную потерю устойчивости показал, что потеря устойчивости не происходит.

В результате топологической оптимизации масса облегченной детали, удовлетворяющей заданным ограничениям на интенсивность напряжений, получилась на 36% меньше массы исходного кронштейна при коэффициенте запаса прочности, равном 1.5.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Список литературы

1. Topology optimization and laser additive manufacturing in design process of efficiency lightweight aerospace parts / K. V. Fetisov, P. V. Maksimov // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - Vol. 1015- Art. 052006. [5 p.].
2. Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 71, 1988. p.197-224.
3. Wang M., Wang X., and Guo D., "A level set method for structural topology optimization," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., vol. 192, pp. 227–246, 2003.
4. Реализация алгоритма на базе Level-Set метода для решения задачи топологической оптимизации авиационных деталей / Максимов П.В., Кротких А.А., Ронжин Б.И. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 9. С. 107-110.
5. Zhang W., Li D., Zhou J., Du Z., Li B., and X. Guo, "A Moving Morphable Void (MMV)-based explicit approach for topology optimization considering stress constraints," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., no. Mmv, 2018.

05.13.18

Е.Н. Мотрюк канд. техн. наук, О.Н. Бурмистрова д-р техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ухтинский государственный технический университет»,
kmotryuk@yandex.ru

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Обычно для наполнения геолого-геофизических моделей используется корреляционно-регрессионный анализ. Данный подход не позволяет учитывать неполноту, и накопление неопределенности информации при ее обработке, что приводит к ошибкам в принятии решений по разработке нефтяных и газовых месторождений. Предлагается использовать методы нечеткого моделирования. В этом случае для каждой модели будет известна информация о достоверности значений ее параметров по функции принадлежности.

Ключевые слова: нечеткое моделирование, функция принадлежности, оценка достоверности данных.

Введение. При проектировании разработки нефтяных и газовых месторождений используются геологические модели, на основе которых делается прогноз запасов углеводородных ресурсов, и, соответственно, проект разработки месторождения. Построение необходимых для этого петрофизических моделей производится посредством корреляционно-регрессионных методов, что не позволяет учитывать неопределенность в данных и зависимостях, накопленную в итоговой неопределенности прогнозных параметров. Подход к моделированию геолого-геофизических данных, позволяющий оценить неопределенность информации, основан на методах нечеткого моделирования.

Анализ предметной области. Для проектирования разработки месторождения необходимо провести вероятностную оценку геологических запасов нефти [1]. При оценке степени достоверности построения моделей и возможных рисков бурения новых скважин наиболее распространены два метода [2, 3]: метод перекрестной оценки и метод стохастического моделирования с оценкой неопределенности. Достоверность оценки в первом методе напрямую зависит от качества и количества данных. А синтезированные во втором методе модели не несут дополнительной информации, добавляя неопределенность в исходные данные.

Предлагаемый подход. Геолого-геофизические параметры, используемые для наполнения геологической модели, характеризуются распределением своих значений в выделенном диапазоне и ранжированием по уровню доверия результатам. Поэтому использование нечетких геологических моделей позволяет объективно оценить уровень обеспеченности необходимым количеством и качеством информации, необходимой для геологической модели. Основой нечетких моделей является алгебра нечетких отношений и нечетких величин [4], что обеспечивает представление экспериментальных данных в пространстве параметров как значений нечеткой величины с ее функцией принадлежности [5, 6].

Основным понятием в конструируемом аппарате служит *нечеткая переменная* X , возможным диапазоном значений с именем $A \subseteq X$ и функцией принадлежности $\mu_A(x)$. Она принимает значения от 0 до 1 и показывает меру доверия данным. Важным отличием от классической вероятности значений некоторой величины является то, сумма значений функции принадлежности всевозможных значений исследуемой переменной может быть больше 1.

Если задано две переменных $\{x, y\}$, на которых определены функции принадлежности $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$, то между ними может быть установлена связь, которая определена новой функцией принадлежности: $\mu_{\{A,B\}}(x, y)$.

Функция принадлежности отражает достоверность исходных данных, и нечеткость петрофизических моделей позволяет выполнить экспертизу достоверности рассматриваемых геологических построений путем расчета значений функций принадлежности для параметров геологической системы (проницаемости, пористости, нефтенасыщенности).

Проведенные эксперименты позволили установить, что в качестве функции принадлежности для характеристики нечетких величин и нечетких отношений в задачах прогнозирования геологических параметров лучше использовать экспоненциальную форму, как обладающую наибольшей энтропией, и соответствующей принципам рассеяния информации по законам диффузии, и, одновременно совпадающей с традиционным нормальным законом для распределения ошибок [5,6,7].

Экспоненциальная форма представления базовой функции принадлежности по итогам измерения $s^j \in S, i=1 \div M$ параметров $s^j = \{s_i^j\}$ имеет форму:

$$K(s, s^j, \zeta) = \frac{1}{\zeta \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{|s - s^j|^2}{2\zeta^2} \right],$$

а для функции принадлежности, определенной во всем пространстве:

$$\mu_A(s, \zeta) = \max_{s^j} \mu_A(s^j) \frac{1}{\zeta \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{|s - s^j|^2}{2\zeta^2} \right]$$

В.В. Лянденбургский,

Здесь ζ – эффективный параметр рассеяния (поглощения). Выбор которого, основан на разработанном методе α - анализа, описанном в [7].

Эксперимент. Достоверные и качественные результаты интерпретации ГИС параметров пористости и нефтегазонасыщенности являются основной информацией для получения качественной модели подсчета запасов. Эффективность оценки этих параметров существенно зависит от достоверности петрофизической модели, принятой за основу при интерпретации ГИС.

Рассмотрим построение зависимости коэффициента остаточной водонасыщенности $K_{ов}$ от пористости $K_{п}$ для тестовых данных двумя методами.

1. Определение коэффициента водонасыщенности с использованием построенной зависимости остаточной водонасыщенности от пористости.

Для построения зависимости использовались данные ГИС - $K_{п}$ и петрофизическая зависимость $R_{п} = f(K_{п})$, $R_{н} = f(K_{в})$, где $R_{п}$ -, $R_{н}$ - $K_{в}$ – коэффициент водонасыщенности.

Порядок нахождения $K_{в}$ по ГИС с помощью петрофизических данных следующий:

Устанавливается петрофизическая зависимость $K_{овк} = f(K_{пк})$ между параметром пористость и остаточная водонасыщенность на основе керна (рис. 1): $K_{ов} = 1/(-26.18 + 40.29 \cdot \lg K_{п})$ при этом величина достоверности аппроксимации мала, $R^2 = 0,6753$. В случае, если $R^2 > 0,5$, считают, что модель приемлема, однако, чем ближе к 1, тем лучше соответствует исходным данным.

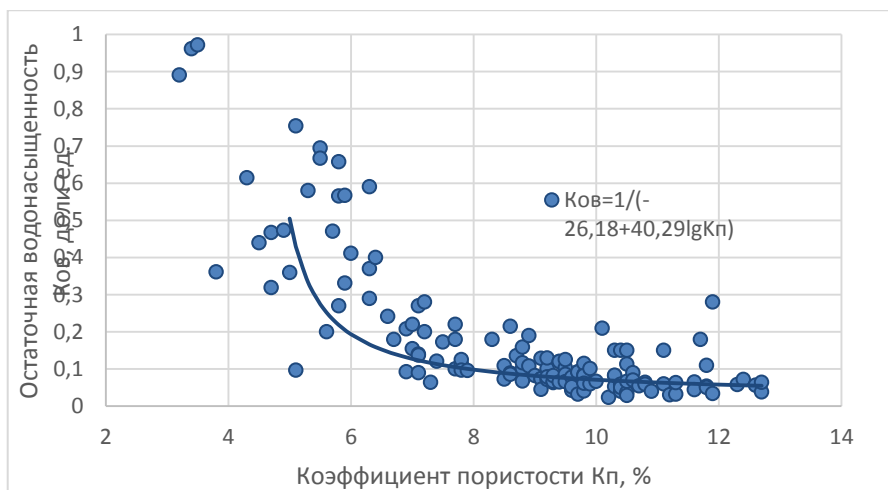


Рис. 1 – Зависимость остаточной водонасыщенности от пористости

По установленной зависимости $K_{\text{овк}} = f(K_{\text{пк}})$ определяют значение $K_{\text{вгис}}$, соответствующее коэффициенту пористости, взятому по ГИС $K_{\text{пгис}}$. Таким образом, последовательность вычислений выглядит следующим образом:

$$K_{\text{пгис}} \rightarrow K_{\text{овк}} = f(K_{\text{пк}}) \rightarrow K_{\text{вгис}}.$$

Как видим, найденная зависимость $K_{\text{ов}} = 1/(-26.18 + 40.29 \lg K_{\text{п}})$, используется для расчетов параметров дальше. Таким образом, погрешность, неполнота данных, увеличивает неточность дальнейших построений.

2. Построение функции принадлежности зависимости остаточной водонасыщенности от пористости.

Рассмотрим случай, когда при прогнозировании учитывается нечеткость данных. При помощи аппарата нечеткого моделирования построим зависимость реальных данных с построением функции принадлежности. На рис. 2 приведена зависимость остаточной водонасыщенности от пористости, построенная по данным керна набора тестовых скважин месторождения. Для функции принадлежности для нечеткого отношения между парой переменных остаточная водонасыщенность и пористость, построенной при различных значениях эффективного параметра ζ , был проведен анализ.

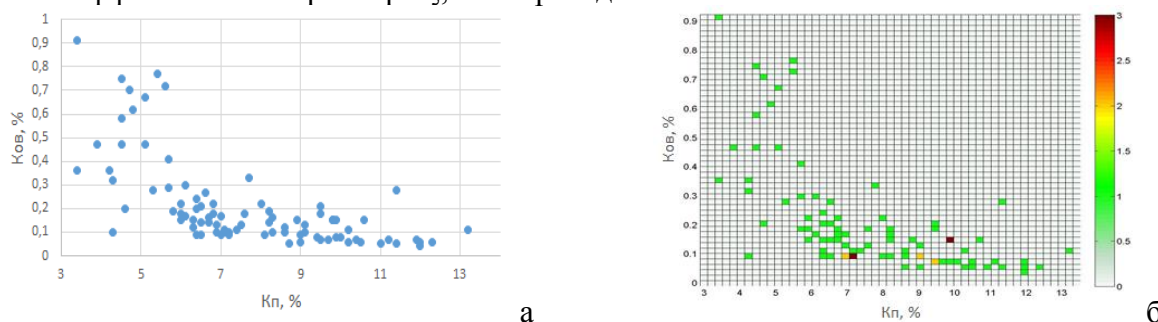


Рис. 2 – Исходные данные для построения нечеткого отношения между параметрами остаточная водонасыщенность и пористость: а – зависимость остаточной водонасыщенности от пористости; б – карта плотности исходных данных отношения остаточная водонасыщенность – пористость

Рассматривались параметры $\zeta = 1; 1.25; 1.5; 1.75; 2, 2.25$. Рассматривали зависимость: разные значения функции принадлежности: $\mu = \alpha = 0.1; 0.2; \dots; 0.9$, и для них вычисленные площади фигуры на графике, занятые функцией принадлежности с данным значением (доля от 1). Оптимальное значение эффективного параметра получилось $\zeta = 1.75$. Для нашего параметра зависимость оказалась наиболее плавной, что позволит проводить далее более точные оценки данных. На рис. 3 приведена нечеткая зависимость (поле рассеяния данных), справа-шкала значений функции принадлежности. Отметим также то, что при данном значении параметра поле рассеяния покрывает исходные данные на 90%.

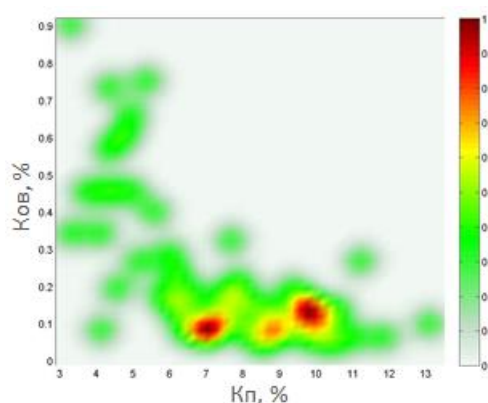


Рис. 3 – Функция принадлежности нечеткого отношения: остаточная водонасыщенность и пористость, для $\zeta = 1.75$

Для конкретного значения пористости, мы можем определить значение остаточной водонасыщенности, и, используя для этой пары значения функции принадлежности, определить также и меру достоверности. А такая информация может учитываться дальше при прогнозе коэффициента водонасыщенности.

Заключение. Предлагается использовать методы нечеткого моделирования при построении геологических моделей. Если данный подход использовать во всей цепочке расчетов до построения трехмерной модели запасов, то можно делать рекомендации по работам на разработку месторождения. Например, указать участки с очень низкой степенью доверия, даже если прогноз запасов углеводородов показал их достаточное количество, и их исключить из проекта.

Список литературы

1. Потехин Д.В. Оптимизация технологии многовариантного трехмерного геологического моделирования залежей нефти и газа: дис.– 2014.
2. Алымова М.В. Многовариантное 3D моделирование строения залежей УВ для повышения надежности оценки их геологических запасов нефти и снижения рисков при проведении разведочных работ // Wschodnioeuropejskie Czasopismi Naukowe. – 2016. – №8. – С. 109-114
3. Pyrcz, M.J., and Deutsch, C.V., Geostatistical Reservoir Modeling, 2nd Edition, Oxford University Press, New York, p. 448.– 2014.
4. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant / E. H. Mamdani // Electrical Engineers, Proceedings of the IEE, 1974. – 121(12). – Pp. 1585–1588.
5. Кобрунов А.И., Бурмистрова О.Н. Нечеткие геологические модели и их дефазификации // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 1. – С. 116-119.
6. Кобрунов А.И., Мотрюк Е.Н. Оценка неопределенности геолого-геофизических параметров методами нечеткого моделирования // Естественные и технические науки. – 2019.– №2(128).– С. 71-75
7. Кобрунов А.И., Кожеевникова П.В. Теоретические основы при прогнозировании параметров геологических сред в условиях неопределенности // Фундаментальные исследования. – 2015.– № 5–3. – С. 506–510.

05.13.18

И.Н. Сидоров д-р физ.-мат. наук, А.В. Горелов канд. техн. наук, А.И. Энская

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
Казань, Sidorovin@mail.ru

АЛГОРИТМ УТОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОЧНОСТИ ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье представлена математическая модель для определения эффективных компонент тензоров модулей упругости и локальных напряжений в ячейке периодичности на основе метода осреднения в периодических средах. Предложен алгоритм определения влияния на поверхность прочности гомогенной структуры внешней изотропной пленки на включение в полимерную матрицу изотропного элемента, а также переходного слоя, образовавшегося из – за диффузного проникновения материала пленки в материал включения.

Ключевые слова: дисперсно армированный полимерный композиционный материал, эффективные компоненты тензора модулей упругости, метод осреднения в периодических средах, локальные напряжения в ячейке периодичности, поверхность прочности гомогенной структуры.

В работе [1] предложен алгоритм определения влияния на эффективные компоненты тензора модулей упругости дисперсно армированного полимерного композиционного материала (ДАПКМ) дополнительных конструктивных «возмущающих» элементов: внешней изотропной пленки на включение в полимерную матрицу в виде изотропного элемента; переходного слоя, образовавшегося из – за диффузного проникновения материала пленки в материал включения. При этом показано, что для определения возмущения эффективных модулей упругости этими конструктивными элементами достаточно использовать периодические функции от «быстрых» переменных «невозмущенной» локальной задачи на ячейке периодичности (ЯП) без возмущающих конструктивных элементов. В данной работе предложен алгоритм определения влияния на локальные напряжения, возникающие в ЯП ДАПКМ, и поверхность прочности гомогенной структуры указанных конструктивных элементов.

Рассмотрим представительный объем ДАПКМ (рис. 1), состоящий из следующих элементов: 1 – изотропная полимерная матрица; 2 – включение в виде изотропного элемента с заданными механическими характеристиками, покрытое внешней изотропной пленкой постоянной толщины и переходного слоя постоянной толщины, образовавшегося из – за диффузного проникновения материала пленки в материал включения (рис.2).

Представительный объем гетерогенного ДАПКМ является регулярной периодической вдоль координат X_1, X_2, X_3 структурой (рис. 1). При этом поперечные размеры ячейки l_1, l_2, l_3 (рис. 1) много меньше общих размеров представительного объема L_1, L_2, L_3 вдоль соответствующих осей координат. В соответствии с методологией работы [2] введены «быстрые» переменные ξ_1, ξ_2, ξ_3 которые определяют локальное изменение параметров напряженно – деформированного состояния (НДС) ДАПКМ при внешнем нагружении. Связь «быстрых» и «медленных» переменных будем представлять как

$$\xi_1 = \frac{x_1}{\varepsilon}, \xi_2 = \frac{x_2}{\varepsilon}, \xi_3 = \frac{x_3}{\varepsilon}, \varepsilon = \frac{l_1}{L_1}$$

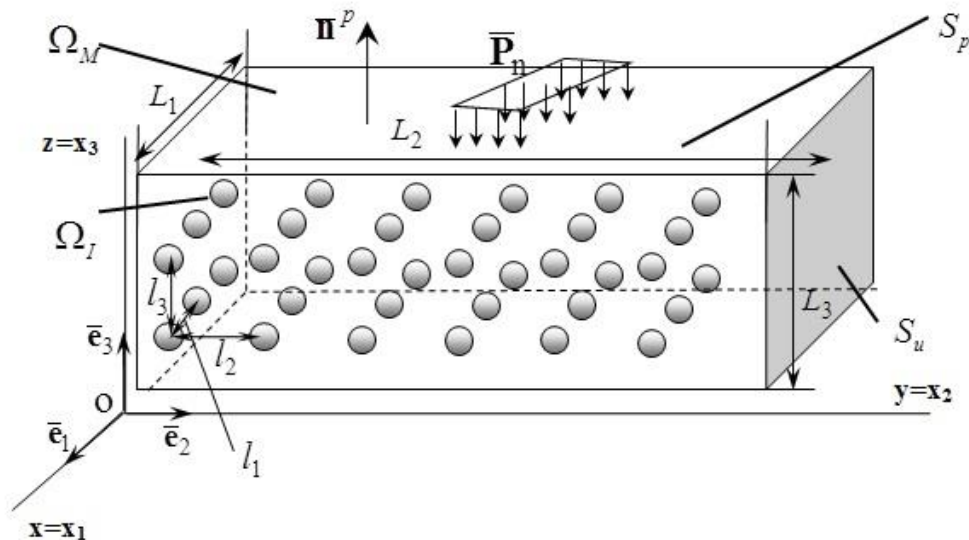


Рис. 1 – Общий вид ДАПКМ, 1 - Ω_M - объем матрицы, 2 - Ω_I - объем включения

Задача по определению эффективных компонент тензора модулей упругости сводится к задаче на ЯП [1], разбиение на подобласти которой представлено на рисунке 2 ($\tilde{a} = a / \varepsilon$, $\tilde{b}_i = b_i / \varepsilon$, $i = 1, 2$), а подобласти аналитически представляются как

$$\Omega_{\xi,1} = \left[(\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq (\tilde{a} - \tilde{b}_2)^2 \right], \quad (1)$$

$$\Omega_{\xi,2} = \left[\tilde{a}^2 \leq (\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq (\tilde{a} + \tilde{b}_1)^2 \right],$$

$$\Omega_{\xi} = [|\xi_1| \leq \frac{k_1}{2}] \times [|\xi_2| \leq \frac{1}{2} k_2] \times [|\xi_3| \leq \frac{1}{2} k_3], \quad k_i = \frac{l_i}{l_1}, \quad i = \overline{1,3},$$

$$\Omega_{\xi,3} = \left[(\tilde{a} - \tilde{b}_2)^2 \leq (\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq \tilde{a}^2 \right], \quad \Omega_{\xi,4} = \Omega_{\xi} / \left(\bigcup_{i=1}^3 \Omega_{\xi,i} \right).$$

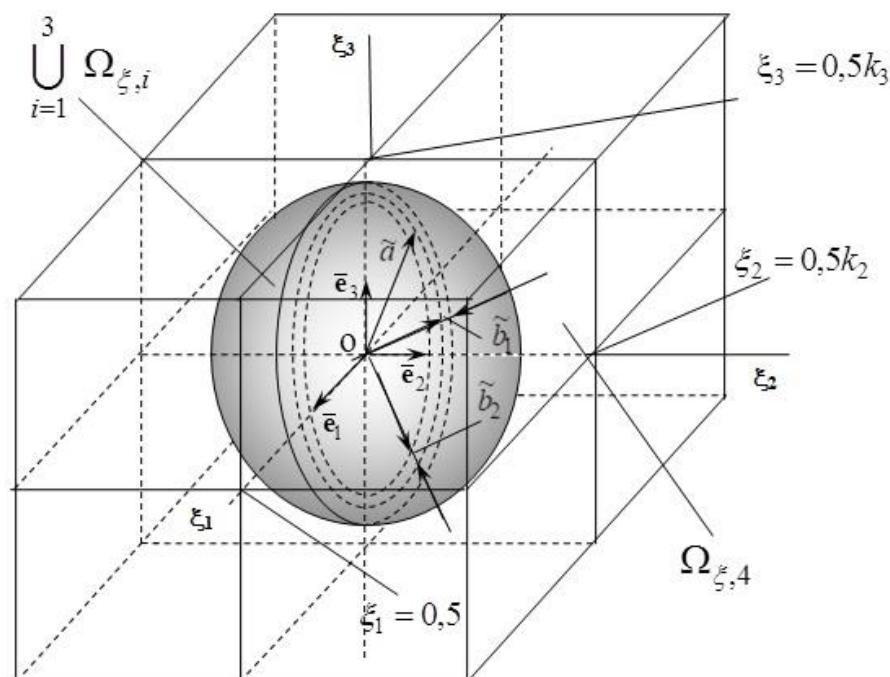


Рис. 2 – Область Ω_{ξ} , занятая ячейкой периодичности

После решения этой задачи получаем макромеханическую задачу по определению НДС гомогенной среды с эффективными упругими характеристиками (по повторяющимся индексам проводится суммирование)

$$\frac{\partial}{\partial x_q} \left(\hat{C}^{qkmr} \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_r} \right) = 0, \quad \hat{C}^{qkrm} = \hat{C}_{(0)}^{qkrm} + \delta \hat{C}_{(0)}^{qkrm}, \quad (2)$$

$$\hat{C}^{qkrm} \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_r} \bar{e}_k n_q^p = \bar{P}_n, \quad \bar{x} \in S_p, \quad u_i^{(0)}(\bar{x}) \bar{e}_i = 0, \quad \bar{x} \in S_u,$$

где $\hat{C}_{(0)}^{qkrm}$ - тензор эффективных модулей упругости ДАПКМ без внешней изотропной пленки постоянной толщины и переходного слоя включения; $\delta \hat{C}_{(0)}^{qkrm}$ - возмущение эффективного тензора за счет отклонения локальных тензоров модулей упругости от тензора модулей упругости матрицы и сферического включения соответственно в областях $\Omega_{\xi,2}$, $\Omega_{\xi,3}$, и определяемое с помощью $N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})$ - периодической матрицы – функции решения задачи на ЯП без внешней изотропной пленки постоянной толщины и переходного слоя ($b_1 = b_2 = 0$); $u_i^{(0)}(\bar{x})$ - компоненты вектора перемещений осредненной задачи.

Решение задачи на ЯП и осредненной задачи (2) позволяют вычислить компоненты локальных напряжений в любой точке ЯП согласно формулам

$$\tilde{\sigma}^{qk} = B_{ps}^{qk}(\bar{\xi}) \sigma_{(0)}^{ps}, \quad B_{ps}^{qk}(\bar{\xi}) = \tilde{C}^{qkrm}(\bar{\xi}) \hat{\Pi}_{psrm}, \quad (3)$$

$$\tilde{C}^{qkrm}(\bar{\xi}) = C^{qkrm}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j},$$

где $N_{rm}^i(\bar{\xi})$ - периодическая матрица – функция решения «возмущенной» задачи на ЯП, $\hat{\Pi}_{psrm} = \left(\hat{C}_{(0)}^{psrm} + \delta \hat{C}_{(0)}^{psrm} \right)^{-1}$ - тензор эффективных податливостей ДАПКМ,

$B_{ps}^{qk}(\bar{\xi})$ - тензор концентрации напряжений, $\sigma_{(0)}^{qk} = \hat{C}^{qkmr} \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_r}$ - компоненты

тензора средних напряжений после решения задачи (2). Соотношение (3) перепишем в матричном виде [3], введя следующие обозначения для групп индексов $11 \leftrightarrow 1$, $22 \leftrightarrow 2$, $33 \leftrightarrow 3$, $12 \leftrightarrow 4$, $13 \leftrightarrow 5$, $23 \leftrightarrow 6$ (матрица концентрации напряжений $\mathbf{B}_j^i(\bar{\xi})$ размера $[6 \times 6]$ формируется с учетом симметричности тензора средних напряжений):

$$\tilde{\sigma}^i(\bar{\xi}) = \mathbf{B}_j^i(\bar{\xi}) \sigma_{(0)}^j, \quad i, j = \overline{1,6},$$

$$\sigma_{(0)}^j = \left[\sigma_{(0)}^{11} \quad \sigma_{(0)}^{22} \quad \sigma_{(0)}^{33} \quad \sigma_{(0)}^{12} \quad \sigma_{(0)}^{13} \quad \sigma_{(0)}^{23} \right]^T, \quad (4)$$

$$\tilde{\sigma}^i(\bar{\xi}) = \left[\tilde{\sigma}^{11}(\bar{\xi}) \quad \tilde{\sigma}^{22}(\bar{\xi}) \quad \tilde{\sigma}^{33}(\bar{\xi}) \quad \tilde{\sigma}^{12}(\bar{\xi}) \quad \tilde{\sigma}^{13}(\bar{\xi}) \quad \tilde{\sigma}^{23}(\bar{\xi}) \right]^T.$$

Далее моделирование поверхностей прочности элементов подобластей (1) ЯП будем осуществлять с помощью квадратичного критерия прочности Малмейстера-Ву [3]. Полагаем, что разрушение в точке с вектором $\bar{\xi}^*$, принадлежащей одной из подобластей $\Omega_{\xi,\alpha}$ ($\alpha = \overline{1,4}$), выполняется, когда

$$f^{(\alpha)}(\bar{\xi}^*) = \mathbf{S}_i^{(\alpha)} \tilde{\sigma}^i(\bar{\xi}^*) + \frac{1}{2} \mathbf{S}_{ij}^{(\alpha)} \tilde{\sigma}^i(\bar{\xi}^*) \tilde{\sigma}^j(\bar{\xi}^*) = 1, \quad i, j = \overline{1,6}, \quad (5)$$

где $\mathbf{S}_i^{(\alpha)}$, $\mathbf{S}_{ij}^{(\alpha)}$ - вектор и матрица прочности компонента композита. После подстановки представления (4) в (5) получим (по повторяющимся индексам проводится суммирование)

$$f^{(\alpha)}(\bar{\xi}^*) = \mathbf{S}_i^{(\alpha)} \mathbf{B}_j^i(\bar{\xi}^*) \sigma_{(0)}^j + \frac{1}{2} \mathbf{S}_{ij}^{(\alpha)} \mathbf{B}_k^i(\bar{\xi}^*) \mathbf{B}_l^j(\bar{\xi}^*) \sigma_{(0)}^k \sigma_{(0)}^l = 1. \quad (6)$$

Задав закон изменения среднего вектора напряжений в виде линейной функции от параметра нагружения t - $\sigma_{(0)}^j = t \cdot \hat{\sigma}_{(0)}^j$, согласно (6) имеем ($\hat{\sigma}_{(0)}^j$ - вектор средних напряжений, соответствующих реализации заданного типа нагружения представительного объема)

$$f^{(\alpha)}(\bar{\xi}^*) = t_* \mathbf{S}_i^{(\alpha)} \mathbf{B}_j^i(\bar{\xi}^*) \hat{\sigma}_{(0)}^j + t_*^2 \frac{1}{2} \mathbf{S}_{ij}^{(\alpha)} \mathbf{B}_k^i(\bar{\xi}^*) \mathbf{B}_l^j(\bar{\xi}^*) \hat{\sigma}_{(0)}^k \hat{\sigma}_{(0)}^l = 1, \quad (7)$$

где, t_* - параметр нагружения, соответствующий выходу вектора локальных напряжений в каком – либо элементе (подобласти) ЯП на предельную поверхность (6).

Представим матрицу тензора концентраций напряжений $\mathbf{B}_j^i(\bar{\xi})$ приближенно [1] как

$$\mathbf{B}_j^i(\bar{\xi}) \approx \mathbf{B}_{j(0)}^i(\bar{\xi}) \quad , \quad B_{ps(0)}^{qk}(\bar{\xi}) = \tilde{C}_{(0)}^{qkrm}(\bar{\xi}) \hat{\Pi}_{psrm}, \quad (8)$$

$$\tilde{C}_{(0)}^{qkmr}(\bar{\xi}) = C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j},$$

Тогда после подстановки (8) в (7) получим

$$t_{*(0)} \mathbf{S}_i^{(\alpha)} \mathbf{B}_{j(0)}^i(\bar{\xi}^*) \hat{\sigma}_{(0)}^j + t_{*(0)}^2 \frac{1}{2} \mathbf{S}_{ij}^{(\alpha)} \mathbf{B}_{k(0)}^i(\bar{\xi}^*) \mathbf{B}_{l(0)}^j(\bar{\xi}^*) \hat{\sigma}_{(0)}^k \hat{\sigma}_{(0)}^l = 1. \quad (9)$$

Определим серию из M законов изменения компонент средних напряжений $\hat{\sigma}_{(0)}^{j(\beta)}$, $(\beta = \overline{1, M})$ [3] заданием серии из M нагружений представительного объема (рис. 1). Для каждого нагружения с помощью решения «невозмущенной» задачи на ЯП, решения осредненной задачи (2) и соотношения (9) определяем параметр нагружения $t_{*(0)}^{(\beta)}$. Далее представляется возможным аппроксимировать поверхность прочности ДАПКМ в пространстве средних напряжений (4) с помощью того же квадратичного критерия прочности Малмейстера-Ву [3]. Решение задачи на ЯП ищется с помощью метода конечного элемента [4].

Таким образом, задача определения прочностных свойств ДАПКМ сведена: 1) К «невозмущенной» задаче по определению решения на ЯП для периодических функций от «быстрых» переменных без внешней изотропной пленки постоянной толщины и переходного слоя на включении; 2) К решению серии осредненных задач по определению параметра нагружения $t_{*(0)}^{(\beta)}$ и дальнейшего построения аппроксимационной поверхности прочности.

При этом для определения эффективных модулей упругости и матрицы тензора концентраций напряжений достаточно использовать периодические функции от «быстрых» переменных «невозмущенной» задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020 (номер темы fzsu-2020-0021).

Список литературы

1. Сидоров И.Н., Энская А.И. Алгоритм гомогенизации упругих свойств дисперсно армированных полимерных композиционных материалов // Научно – технический вестник Поволжья. 2020. № 9. С. 60 – 66.
2. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, 1984. 352 с.
3. Димитриенко Ю.И., Соколов А.П., Шпакова Ю.В., Юрин Ю.В. Моделирование поверхностей прочности композитов на основе микроструктурного конечно-элементного анализа // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 11. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/1112.0496336>.
4. Димитриенко Ю.И., Соколов А.П.. Метод конечных элементов для решения локальных задач механики композиционных материалов : учеб. пособие / Ю. И. Димитриенко, А. П. Соколов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 68 с.

05.13.18

**С.А. Федосин канд. техн. наук, Н.П. Плотникова канд. техн. наук,
Е.А. Немчинова, А.В. Денискин**

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева»,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, linsierra@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИРОВАННОГО АЛГОРИТМА WORD2VEC В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматривается адаптированная под задачи классификации и кластеризации нормативно-справочной информации версия алгоритма Word2Vec. Описывается порядок формирования окончательной модели. Приводятся примеры и способы применения полученной модели для решения задач классификации и кластеризации.

Ключевые слова: *Word2Vec, классификация, кластеризация.*

Подавляющее большинство информации хранится в виде текста, который с трудом поддается полноценному анализу как традиционными, так и современными методами машинного обучения. Одной из ключевых задач, решаемых на данном этапе развития технологий обработки текста, является его классификация. Уже сейчас искусственные нейронные сети при правильном подборе их архитектуры, параметров и алгоритмов обучения демонстрируют высокий процент точности.

Но прежде чем приступить к созданию классификатора, необходимо решить другую, не менее важную задачу. Она заключается в обработке исходного текста и представлении его в понятном для искусственной нейронной сети виде. То есть требуется поставить в соответствие каждому отдельному элементу текста числовой вектор фиксированной длины.

К технологиям и алгоритмам, позволяющим преобразовать слова в векторы, относятся One-hot кодировка, в которой каждое слово интерпретируется в вектор фиксированной длины, равной количеству используемых слов в выборке; TF (Term Frequency), которая рассчитывает частоту вхождения текущего слова в текущий текст; TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency), отражающая вес текущего слова относительно его вхождения во все представленные для обработки документы [1].

Альтернативным методом является использование технологии Word2Vec. Она включает набор моделей для анализа семантики естественных языков и является технологией, которая основана на дистрибутивной семантике и векторном представлении слов. На вход модели Word2Vec необходимо подать большой объем текстовой информации. После обработки текста каждому слову будет сопоставлен вектор, содержащий координаты слов в N-мерном пространстве. В основе векторного представления слов лежит их контекстная близость. Таким образом, слова, расположенные в тексте рядом с одинаковыми словами, при переводе их в вектор будут иметь близкие координаты. Это говорит о том, что слова, встречающиеся в одинаковых контекстах, являются близкими по смыслу [2].

В Word2Vec применяется два основных алгоритма:

- CBoW (Continuous Bag of Words) – архитектура, предсказывающая текущее слово на основе окружающего его контекста;
- Skip-gram – архитектура, которая использует текущее слово для предсказания окружающих его слов.

Данная технология имеет преимущество перед стандартными методами векторизации текста, так как получаемые вектора несут в себе смысловую нагрузку слова в контексте данных, на которых обучается модель Word2Vec.

Рассмотрим процесс обработки нормативно-справочной информации и представления ее в виде, применимом для дальнейшей классификации с помощью искусственной нейронной сети, выполняемый с использованием технологии Word2Vec и позволяющий учесть семантические особенности исходных данных.

В качестве исходных данных возьмем список наименований товаров в объединенном прайс-листе нескольких компаний.

Примеры наименований:

- 1) Компрессор автомобильный Торнадо АС-580, 14 А, 150 PSI, 30 л/м, 12 В 1256467
- 2) Насос электрический 12 В, 75 Вт, от прикуривателя, 3 насадки 2890120
- 3) Ремень генератора 790 мм, Daiha Charade III 2853103

Размер исходного текстового файла, содержащего только наименования (по одному в каждой строке) составляет 134 МБ. Файл включает 1373104 строки.

Первоначально необходимо избавить текст от лишних элементов, удалить знаки пунктуации, привести к нижнему регистру. Также можно заменить все встречающиеся числа на один токен, например, <num>. В данном случае такая замена не производилась, так как для наименований товаров числа, как и слова, несут свою смысловую нагрузку.

Код программы на языке программирования Python приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Функция предобработки текста перед векторизацией

```
import re
import codecs

def clear_text(text):
    text = text.lower().replace("ё", "е")
    text = re.sub('[^a-zA-Za-яА-Я0-9]+', ' ', text)
    text = re.sub(' +', ' ', text)
    return text.lower()
```

На данном этапе текст приводится к такому состоянию, при котором разделение его по пробелам на токены позволит составить словарь всех встречающихся в наименованиях слов и чисел.

Однако не всегда достаточно только токенов, являющихся словами. С целью повышения точности результатов работы модели Word2Vec в обучающий набор добавлены комбинации из двух и трех последовательно идущих слов. Слова объединяются в один токен с помощью символа нижнего подчеркивания «_».

Далее переходим к реализации модели Word2Vec. В языке Python есть библиотека Gensim, позволяющая простым и понятным способом создавать, настраивать и обучать Word2Vec-модели [3, 4].

Процесс создания и обучения модели приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Исходный код для создания и обучения модели

```
from gensim.models import Word2Vec
from gensim.models.word2vec import LineSentence
sentences = LineSentence(outp_file)

model = Word2Vec(
    sentences,
    size=int(args["size"]),
    window=int(args["window"]),
    min_count=int(args["min_count"]),
    sg=bool(args["sg"]),
    hs=bool(args["hs"]),
    trim_rule=trim_rule,
    workers=int(args["workers"]),
    alpha=float(args["alpha"]),
    sample=float(args["subsample"]),
    negative=int(args["negative"]),
    compute_loss=True,
    sorted_vocab=True,
    batch_words=int(args["batch"]),
    iter=int(args["epochs"]),
    callbacks=callbacks)
```

В качестве аргументов модель принимает ряд параметров. В первую очередь передается считанный из файла корпус обработанного текста (sentences). Далее следует длина итоговых векторов слов (size). Это значение было выбрано равным 200. Размер контекстного окна (window) обычно устанавливается в пределах интервала [5; 15]. В данном случае он равен 8. При выборе данного параметра учитывалась длина наименований товаров, каждое из которых рассматривается как отдельный текст. Параметр min_count, отвечающий за минимальное количество вхождений слова в корпус, задан таким образом, чтобы в результате работы Word2Vec в словаре сохранились все токены, встречающиеся в обработанном тексте. Модель была построена на архитектуре skip-gram (sg). Обучение модели велось в течение 30 эпох.

Полный список параметров, используемых при обучении модели Word2Vec приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Список параметров, используемых при обучении модели Word2Vec

```
args = {
    "corpus": "large_dataset_with_numbers.txt",
    "model_name": "large_dataset-sz200-w8-sg1-it30-min1",
    "epochs": 30,
    "size": 200,
    "window": 8,
    "min_count": 1,
    "workers": 16,
    "alpha": 0.01,
    "batch": 10000,
    "negative": 15,
    "subsample": 0.0001,
    "sg": True,
    "hs": True,
}
```

Выбор параметров для обучения модели Word2Vec осуществлялся с учетом исследований, описанных в [5]. Также был принят во внимание проект [6].

Для тестирования полученной модели воспользуемся методом `similar_by_word()` библиотеки `genism`. Этот метод позволяет получить список наиболее похожих, по мнению модели, слов для конкретного токена [3, 4]. Например, для токена «компрессор» ближайшие 20 слов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Ближайшие к токену «компрессор» слова, полученные с помощью обученной модели

```
( 'насос', 0.9183610081672668)
( 'атм', 0.9112026691436768)
( 'мин', 0.8983890414237976)
( 'airline', 0.8924268484115601)
( '2042989', 0.8831290006637573)
( '2401116', 0.8813719153404236)
( 'ks750d', 0.8813492655754089)
( 'регулятором', 0.8740369081497192)
( 'двухцилиндровый', 0.8706371784210205)
( 'двухпоршневой', 0.8698101043701172)
( 't', 0.866706907749176)
( 'avs', 0.8660876750946045)
( '010153', 0.8636302351951599)
( '2984774', 0.8634182214736938)
( 'вт', 0.8630366921424866)
( 'рп', 0.8623712062835693)
( 'фильтр', 0.8615299463272095)
( 'ks600', 0.859575092792511)
( 'кабель', 0.8591784834861755)
( 'as', 0.8580511808395386)
```

Используя алгоритма уменьшения размерности t-SNE, изобразим полученные слова в виде точек на плоскости (рисунок 1).

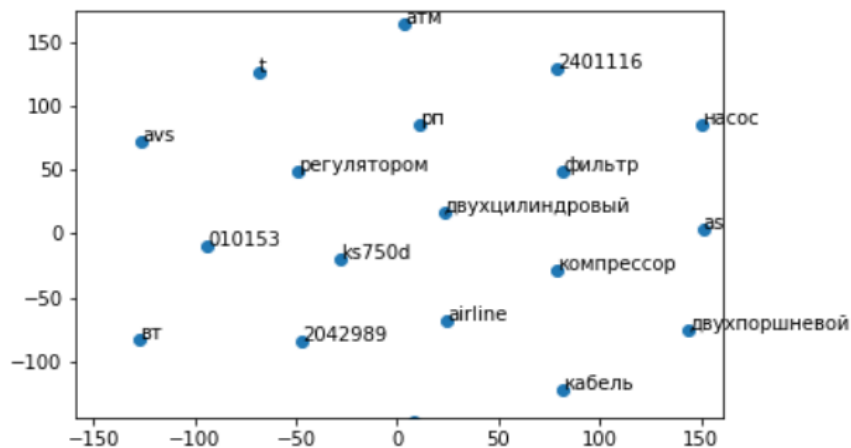


Рис. 1 – Представление слов в двумерной системе координат

Можно заметить, что далеко не все из представленных токенов, являются аналогами слова «компрессор». Однако нельзя говорить о том, что модель обучена неправильно, так как полученные слова, действительно, имеют одинаковый контекст. Примеры наименований, на основе которых модель могла объединить целевое и запрашиваемое слова, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Примеры наименований товаров, содержащих целевое и близкие к нему слова

Наименование с целевым словом	Наименование с похожим словом
– Компрессор автомобильный <u>Airline</u> X5, <u>двухпоршневой</u>, 50 л/мин., 10 АТМ. 2615788 – Компрессор для ШДМ со съемным аккумулятором, ремнем и <u>ножной</u> педалью, 1 шт 3563950 – Компрессор автомобильный, двухцилиндровый "AUTOVIRAZH" 95 л/мин с <u>манометром</u> AV-010999 4350254	– Насос <u>ножной</u> Nova Bright, с <u>манометром</u>, 500 смЗ 1256472 – Насос <u>ножной</u> Lavita, <u>двухпоршневой</u> 2691559 – Насос для перекачки топлива <u>Airline</u> AFP-3812-01, погружной, 12 В, 38 мм, 12 л/мин 2995178
– Компрессор автомобильный <u>TORSO</u>, серия "Торнадо" 30 л/мин 2710337 – Компрессор автомобильный AVS KS600, <u>12 В</u>, 23 А, 60 л/мин 2984774 – Компрессор KW <u>Dophin</u> AP 1500 одноканальный, 1.9 Вт, 1.5 л/мин 2939660	– Подогрев сидений <u>TORSO</u>, 46 x 46 см, <u>12 В</u>, 35 Вт, провод 1,1 м, с <u>регулятором</u>, серый 916332 – Внутренний фильтр <u>Dophin</u> KF-150 (KW) 3вт., 200л/ч, с <u>регулятором</u> 1180064
– Компрессор <u>воздушный</u> с <u>регулятором</u> (1канал 3л/м) 1153613 – Компрессор P.I.T. PAC24-C, <u>масляный</u>, 1.5 кВт, 206 л/мин, 24 л, 1 выход, европереходник 4648427 – Компрессор KW <u>Dophin</u> AP 1500 одноканальный, 1.9 Вт, 1.5 л/мин 2939660	– Фильтр <u>воздушный</u> TSN 9.1R.270 (Волга, Газель, Соболь, УАЗ Хантер) 1312425 – Фильтр <u>масляный</u> TSN 9.2.567 (ГАЗЕЛЬ Бизнес дв. Cummins 2.8) 1312436 – Фильтр внутренний KW <u>Dophin</u> F-800, 5.3 Вт, 360 л/ч с <u>регулятором</u> и углем 2939707

В таблице 5 жирным шрифтом выделены похожие слова. Подчеркнутым шрифтом обозначены токены, по которым модель установила близость слов.

Также некоторые слова из выделенного списка встречаются непосредственно в самих наименованиях различных компрессоров:

1) **Компрессор** автомобильный AVS KS750D, двухцилиндровый, 75 л/мин, 12 В, 10 атм 2579421

2) **Компрессор** автомобильный Airline X5, двухпоршневой, 50 л/мин., 10 АТМ. 2615788

3) **Компрессор** автомобильный Airline X, 30 л/мин, 7 атм 2042989

4) **Компрессор** автомобильный Autovirazh AV-010153, 25 л/мин, 12 В 2401116

Следовательно, они находятся в одинаковых с целевым словом контекстах, а, значит, модель считает их похожими.

Таким образом, модель, обученная на списке наименований товаров, подбирает синонимичные токены не по смыслу в привычном понимании этого слова. Она считает похожими те токены, которые встретились в одинаковом контексте.

Только в случае, когда модель обучается на связных текстовых данных, таких как литературные произведения, научные и публицистические статьи и др., можно строго оценивать близость по смыслу слов с похожими векторами.

Модель Word2Vec каждому слову корпуса ставит в соответствие вектор заданной длины, и для дальнейшего использования в задаче классификации необходимо решить, как формировать вектора для целых наименований.

Одним из вариантов решения этой задачи является обычное усреднение векторов всех слов наименования по каждой позиции. Таким образом, предложение будет описано вектором той же длины, что и составляющие его слова. Если какое-либо слово не содержится в словаре модели Word2Vec, то для него можно взять вектор, состоящий из нулей.

Другой подход, кроме простого усреднения, использует метрику TF-IDF. Она учитывает частоту, с которой слово встречается в тексте, но в то же время уменьшает вес широко распространенных слов и увеличивает вес более редких. В результате чего каждый элемент вектора предложения является взвешенным средним соответствующий элементов векторов слов.

Вектора, созданные данным алгоритмом, можно использовать как для классификации, так и кластеризации текста. Например, для классификации данных при помощи сверточной нейронной сети необходимо, чтобы каждый экземпляр класса являлся вектором чисел заданной длины. Обработка каждого наименования при помощи Word2Vec и усреднения метрикой TF-IDF приведет данные к нужному виду. Например, наименование «Компрессор автомобильный Торнадо АС-580, 14 А, 150 PSI, 30 л/м, 12 В 1256467» будет приведено к виду, представленному в таблице 6.

Таблица 6 – Векторное представление наименования «Компрессор автомобильный Торнадо АС-580, 14 А, 150 PSI, 30 л/м, 12 В 1256467»

[	2.730515	5.7481313	-0.5854441	3.4285223	-2.9360645
	-0.19056045	2.322611	-5.1556196	-6.9710407	-0.8888277
	6.8094225	7.13597	2.7579114	-7.0909853	-3.2055535
	2.4893591	8.675704	-13.459955	-2.0836616	1.0911702
	3.9024951	-0.9966612	1.4450705	-1.3822882	6.8000097
	7.479782	-2.083382	6.572346	-1.2884742	-3.8590949
	3.6502504	8.85218	-0.29441306	-10.14665	7.6650968
	-0.9385382	3.5045037	5.122661	0.08204365	3.6975746
	-2.1677504	-0.6832539	-8.876113	-4.172388	-5.613817
	-3.312052	5.2177267	0.18030126	4.7569275	2.64808
]					

В таком виде нейронная сеть принимает наименования, после чего начинается обучение.

Также полученную модель Word2Vec можно использовать в кластеризации текстовых данных. При помощи функции вычисления похожести слов можно вычислить похоть двух наименований в процентах. Код функции на Python приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Функция вычисления похожести наименований

```
def compare_texts(self, text1, text2):
    clear_words_arr1 = self.clear_text(text1).split()
    clear_words_arr2 = self.clear_text(text2).split()
    similarity1 = 0.0
    for i in range(len(clear_words_arr1)):
        cur_sim = 0.0
        for j in range(len(clear_words_arr2)):
            if (clear_words_arr1[i] in self.word2vec) and
(clear_words_arr2[j] in self.word2vec):
                cur_sim = max(cur_sim,
self.w2v_model.similarity(clear_words_arr1[i], clear_words_arr2[j]))
            else:
                cur_sim = max(cur_sim, 0.0)
        similarity1 += cur_sim
    similarity1 /= len(clear_words_arr1)
    similarity2 = 0.0
    for i in range(len(clear_words_arr2)):
        cur_sim = 0.0
        for j in range(len(clear_words_arr1)):
            if (clear_words_arr1[j] in self.word2vec) and
(clear_words_arr2[i] in self.word2vec):
                cur_sim = max(cur_sim,
self.w2v_model.similarity(clear_words_arr1[j], clear_words_arr2[i]))
            else:
                cur_sim = max(cur_sim, 0.0)
        similarity2 += cur_sim
    similarity2 /= len(clear_words_arr2)
    res_similarity = (similarity1 + similarity2) / 2
    return res_similarity
```

Например, возьмем два наименования:

- 1) Компрессор автомобильный Торнадо АС-580, 14 А, 150 PSI, 30 л/м, 12 В 1256467
- 2) Компрессор автомобильный Airline X5, двухпоршневой, 50 л/мин., 10 АТМ. 2615788

Их похожесть равна 90,76%. Вычислив значение похожести для каждой пары наименований, можно использовать обратную величину как расстояние между объектами. После этого, используя алгоритмы кластеризации, такие как DIANA, можно получить несколько кластеров, причем в каждом кластере будут находиться наименования, близкие по значению.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва" при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации проекта «Разработка программно-технологической платформы на основе автоматизированных алгоритмов машинного обучения онтологической классификации нормативно-справочной информации (в том числе градиентного бустинга, нейронных сетей) с применением облачных технологий» (Соглашение № 074-11-2018-027 от 11.07.2018) в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 года №218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства".

Список литературы

1. A Beginner's Guide to Bag of Words & TF-IDF [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://skymind.ai/wiki/bagofwords-tf-idf> — Загл. с экрана.
2. Немчинова Е.А., Плотникова Н.П., Федосин С.А. Подготовка и обработка нормативно-справочной текстовой информации для классификации с помощью искусственных нейронных сетей / Е. А. Немчинова, Н. П. Плотникова, С. А. Федосин // Нелинейный мир. — 2019. — Т. 17. — №. 2. — С. 27-33.
3. Gensim: API Reference [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://radimrehurek.com/gensim/apiref.html> — Загл. с экрана.
4. Gensim: Tutorials [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://radimrehurek.com/gensim/tutorial.html> — Загл. с экрана.
5. Tshitoyan V. et al. Unsupervised word embeddings capture latent knowledge from materials science literature // Nature. — 2019. — Т. 571. — №. 7763. — С. 95-98.
6. Russian Distributional Thesaurus [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://nlp.mipt.ru/Russian_Distributional_Thesaurus#.D0.92.D0.B5.D0.BA.D1.82.D0.BE.D1.80.D0.B0_.D1.81.D0.BB.D0.BE.D0.B2_.28word_embeddings.29 — Загл. с экрана.

05.13.18

М.А. Шурыгина канд. физ.-мат. наук, А.В. Хорьков, Ш.И. Галиев д-р техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Казань, m-akm@mail.ru, sh.galiev@mail.ru, alex22fcrk@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАСПОЛОЖЕНИЯ КАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА – ЧАСТЬ I

Представлены математические модели и алгоритмы определения минимального числа камер и их расположения для наблюдения (покрытия) части территории Республики Татарстан, расположенной на левом берегу реки Волги и правом берегу реки Камы при различных расстояниях, на которых наблюдение возможно. Проведен анализ математических моделей, введены ограничения между центрами покрывающих кругов и получены модели для нахождения приближенных нижних оценок чисел покрывающих кругов. Знание нижних оценок и полученного числа кругов позволит судить о приемлемости полученного решения.

Ключевые слова: задачи наблюдения за лесными пожарами, модели покрытия, задачи покрытия, покрытие кругами заданного радиуса.

Введение. Проблема лесных пожаров всегда являлась актуальной и важной задачей. Кроме профилактических противопожарных мер перспективным способом снижения ущерба и человеческих жертв является использование системы раннего обнаружения пожаров. Быстрое и эффективное обнаружение является ключевым фактором в борьбе с пожарами.

До настоящего времени для задачи наблюдения за лесом (мониторинга леса) применялись различные методы: спутниковый, авиационный и наземный. У каждого из них наряду со своими плюсами имеются и недостатки. Спутниковый мониторинг хорош тем, что является стратегической разведкой пожарной обстановки, но ему недостает тактической гибкости. Авиапатрулирование является довольно хорошим инструментом, но чрезвычайно дорогим и не работающим в сложных условиях – ночью, при сильном ветре и низкой облачности. Сеть наземных наблюдений с установленных пожарных вышек требует привлечения многих работников, к тому же наземные наблюдатели часто ошибаются в определении расстояний до очагов пожара, причем, иногда более чем на десять километров. Также наблюдения человеком могут быть ограничены усталостью наблюдателя, временем суток, года и другими факторами.

Учитывая важность раннего обнаружения пожаров, в настоящее время существуют и разрабатываются различные системы раннего распознавания пожаров и передачи на центральный пункт (пункты) сведений об очагах пожаров. Одним из эффективных возможных методов предупреждения распространения пожаров является мониторинг лесных массивов и прилегающих к ним территорий с помощью камер дистанционного наблюдения, например, системы: «Лесной Дозор», Fire-Watch и другие системы [1-6]. Камеры в таких системах, как правило, размещаются на вышках, например, операторов сотовой связи и помогают обнаруживать лесные пожары на самой ранней стадии их появления. Поступающая информация с них через линию Интернет позволяет визуально следить за ситуацией в лесной зоне в режиме он-лайн. Каждая камера может вращаться на 360 градусов, тем самым, охватывая значительную территорию. Ясная погода позволяет камере отследить, по заверению разработчиков системы «Лесной Дозор» расстояние до 30 км. В результате одна камера может наблюдать круг радиуса до 30 километров. Конечно, из-за неровности местности наблюдаемая часть леса будет отличаться от круга, но первоначальные расчеты можно строить из того, что наблюдаемая часть является кругом. Величина радиуса круга

будет зависеть от многих параметров, в первую очередь от условий наблюдения, аппаратуры и т.п. Поэтому важно знать, как изменяется число камер в зависимости от возможного радиуса кругов, т.е. дальности наблюдения. В ряде случаев важно гарантировать результаты наблюдения, чтобы даже при наличии отказов отдельных элементов, обеспечивать k -кратное ($k \geq 1$) наблюдение, когда каждая точка области находится в зоне наблюдения не менее чем k наблюдательных камер (пунктов).

В данной работе рассматривается задача определения минимального числа камер (пунктов) и их расположения для противопожарного наблюдения части территории Республики Татарстан, расположенной на левом берегу реки Волги и правом берегу реки Камы. В первой части работы приводится краткий обзор проблемы обнаружения пожаров в лесных массивах. Далее дается математическая постановка задачи, приводятся математические модели и общая методика их анализа. Во второй части работы приводятся алгоритмы для решения представленных в работе математических моделей определения минимального числа пунктов и их расположения для наблюдения указанной территории при различных расстояниях, на которых наблюдение возможно. Предложено программное обеспечение, реализующее представленные алгоритмы. Проведены численные расчеты, демонстрирующие эффективность моделей, методов и алгоритмов данной работы.

Постановки задач покрытия (наблюдения). Пусть задана область, которую следует контролировать (наблюдать). Обозначим эту область через G . Для использования кроме непрерывных моделей еще и дискретных моделей построим на области G сетку. Выберем шаг Δ сетки на G . С шагом $\Delta x = \Delta y = \Delta$ построим прямоугольную сетку на множестве G . Линии, порождающие сетку, считаем параллельными осям координат, пересечение этих линий считаем узлами сетки. Узлы сетки, содержащиеся в G , образуют конечное множество $T = \{t_1, \dots, t_m\}$, $t_i \in G$, $1 \leq i \leq m$. Пересечение линий образующих сетку с границей области G тоже считаем узлами и добавляем к множеству T . Если расстояние между узлами сетки, находящихся на границе области G (frG) вдоль этой границы больше $\Delta\sqrt{2}$ до добавим к T узлы на frG так, чтобы расстояние между ними (вдоль frG) было не более $\Delta\sqrt{2}$. Полученное в результате множество узлов обозначим через $T_\Delta = \{t_1, \dots, t_n\}$, $t_i \in G$, $1 \leq i \leq n$. Радиус круга, наблюдаемого камерой положим равным r .

Пусть заданы (выбраны) G , Δ , k ($k \geq 1$), r и построено конечное множество T_Δ на основе прямоугольной сети. Рассмотрим следующие задачи.

Задача P1. Найти k -покрытие множества G кругами радиуса r и с центрами в G так, чтобы минимизировать число покрывающих кругов.

Задача P2. Найти k -покрытие множества G кругами радиуса r так, чтобы минимизировать число покрывающих кругов при условии, что центр каждого покрывающего круга совпадает с некоторой точкой множества T_Δ , и каждая точка из T_Δ совпадает не более чем с одним из возможных центров кругов.

Задача P3. Найти k -покрытие множества T_Δ кругами радиуса r таким образом, чтобы минимизировать число покрывающих кругов и расположить центр каждого покрывающего круга в T_Δ , при этом каждая точка из T_Δ должна совпадать не более чем с одним из возможных центров кругов.

При решении задач покрытия можно ввести ограничения на минимально возможные расстояния между центрами кругов. Кроме того, в задачах P2 и P3 можно удалить требование, что каждая точка из T_Δ должна совпадать не более чем с одним из возможных центров кругов.

Сформулированные задачи являются задачами покрытия заданного множества (G или T_Δ) минимальным числом кругов заданного радиуса r . Задача покрытия является известной задачей, которая широко обсуждается в литературе и разрабатываются различные подходы к этой задаче, см., например, публикации [7-9]. По задачам однократного и многократного покрытия имеется много работ, в которых предложены различные подходы, например, использование областей Вороного, сведение задач покрытия к задачам целочисленного линейного программирования (ЛП), использование нелинейных моделей таких задач и

другие подходы. Достаточно эффективные методы и алгоритмы предложены в работах [10-12], см также библиографию в них. Важно, что в [11] разработана методика, позволяющая получить оценки того, как далеки числа полученных покрывающих кругов от минимально возможных их значений. Как известно, задачи покрытия являются NP -полными задачами [13-15], поэтому при решении их часто используются эвристические подходы.

Рассмотрим вначале задачу P3. Пусть выбрано Δ , положим, $\alpha = \Delta\sqrt{2}/2$ и введем матрицу $A = (a_{ij})$, где

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } d(t_i, t_j) \leq r - \alpha \\ 0, & \text{если } d(t_i, t_j) > r - \alpha \end{cases} \quad (1)$$

Для корректного введения формул (1) должно выполняться условие: $\Delta < 2r/\sqrt{2}$. В дальнейшем полагаем, что $\Delta \leq r/4$. Определим вектор Z с координатами $z_1, \dots, z_n$, где z_i – число кругов радиуса $r - \alpha$, центры которых совпадают с точкой t_i , $1 \leq i \leq n$. Пусть K – n -мерный вектор, каждая координата которого равна k . Аналогично как в [10-11] построим задачу:

$$z_1 + z_2 + \dots + z_n \rightarrow \min \quad (2)$$

при ограничениях:

$$AZ \geq K \quad (3)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

Ограничения (3) обеспечивают покрытие каждой точки t_i не менее чем k кругами.

Если в (1) положить $\alpha = 0$, то задача (2)–(4) будет задачей k -покрытия T_Δ наименьшим числом кругов радиуса r , при котором центры кругов совпадают с некоторыми точками T_Δ . Таким образом, задача (2)–(4), при $\alpha = 0$ решает P3.

Рассмотрим задачу P2. При k -покрытии множества T_Δ кругами радиуса r не гарантируется покрытие исходного множества G . Квадратик C_Δ , порожденный прямоугольной сеткой, имеет диагональ равную $\alpha = \sqrt{2}\Delta$. Если уменьшить радиусы покрывающих кругов на половину диагонали, т.е. на $\alpha = \Delta\sqrt{2}/2$ и круги радиуса $r - \alpha$ образуют k -покрытие T_Δ , то в силу построения T_Δ , круги исходного радиуса r образуют k -покрытие множества G . Следовательно, решение задачи (2)–(4) при $\alpha = \Delta\sqrt{2}/2$ определяет число кругов M_t и положения центров кругов (на множестве T_Δ), которые при радиусе r образуют k -покрытие множества G . Очевидно, что это число будет не меньше минимально возможного числа кругов M^* для k -покрытия G : $M_t \geq M^*$.

В работе [11] доказано, что существует такое m , что решение задачи (2)–(4), где a_{ij} определяются по (1) при $\alpha = \Delta\sqrt{2}/2^m$, дает минимальное число кругов $M = n_{\alpha/2^m}$, такое, что эти M кругов радиуса $r - \alpha$, образуют k -покрытие множества $T_{\Delta/2^m}$, а при их радиусе r , они образуют k -покрытие множества G и дальнейшее увеличение m не меняет число M . Следовательно, задачу P2 можно решить, используя (2)–(4) при соответствующем выборе Δ . В качестве примера рассмотрим задачу однократного покрытия единичного квадрата кругами радиуса 0.3. Если выбирать Δ последовательно равными 0.1, 0.05, 0.025 и 0.0125, то числа кругов M_t для покрытия единичного квадрата получатся равными 9, 8, 7 и 7 соответственно. Известно, что минимально возможное число кругов радиуса 0.3 покрывающих этот квадрат равно 6.

Остается вопрос, как выбрать величину Δ . Ясно, что Δ нужно выбирать достаточно малым. При этом возрастает размерность указанной задачи. Мы вынуждены выбирать Δ , исходя из возможностей нашего компьютера решать получающиеся задачи 0-1 ЛП. В общем случае получим приближенное решение для P2. Важно, что в дальнейшем мы укажем еще и нижнюю оценку для числа покрывающих кругов.

Приближенное решение задачи P2 мы принимаем за приближенное решение задачи P1.

Введение ограничений между центрами кругов и нижняя оценка числа покрывающих кругов. Расположение в одной точке нескольких приборов наблюдения нежелательно, поэтому введем ограничения на минимальные расстояния между центрами кругов. Пусть требуется, что расстояние между центрами кругов должно быть не меньше заданной величины λ . Это условие введем так же, как это делается для задач упаковок, следующим образом, см. [12]. Пусть для каждой точки t_i из T_Δ имеется p_i точек t_j ($i \neq j$, $1 \leq j \leq n$), для которых $d(t_i, t_j) < \lambda$. Определим коэффициенты:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } d(t_i, t_j) < \lambda \\ 0, & \text{если } d(t_i, t_j) \geq \lambda \end{cases}, \quad i \neq j, \quad 1 \leq i, j \leq n; \quad b_{ii} = p_i, \quad 1 \leq i \leq n.$$

Введем матрицу $B = (b_{ij})$ и вектор $P^* = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. Зададим ограничения:

$$BZ \leq P^* \quad (5)$$

Ограничения (5) обеспечивают условие, что расстояния между центрами кругов не меньше чем величина λ . Следовательно, решив задачу (2)–(5) получим расположение кругов с учетом минимальных расстояний между их центрами. Считаем, что величина λ выбрана таким образом, что задача (2)–(5) имеет решение.

Для заданного множества G , существует наименьшее (оптимальное) число кругов с радиусами r и с центрами в G которые обеспечивают k -покрытие G . Положим, число кругов при их оптимальном расположении равно M^* . Пусть при этом центры кругов расположены в точках $s_1, s_2, \dots, s_{M^*}$.

Положим, выбрана величина шага сетки Δ и построено множество узлов сетки $T_\Delta = \{t_1, \dots, t_n\}$, $t_i \in G$, $1 \leq i \leq n$. Если центр круга (точка s_i) не совпадает с точкой из T_Δ , то сдвинем точку s_i к ближайшей точке t_j из T_Δ . Положим, сдвиг осуществляется на расстояние, не превосходящее величину β . Считаем, что $\beta = \Delta\sqrt{2}/2$. Отметим, что величина α в (1) определяется тоже с использованием $\Delta\sqrt{2}/2$, но α и β имеют разное предназначение. Величина α используется для гарантированного покрытия G , а β для гарантии, что произвольная точка из G сдвинется в ближайший узел сетки. Априори считаем, что сетка построена таким образом, что в каждую точку из T_Δ можно сдвинуть центр только одного круга и при этом величина сдвига не превосходит β . Если такое предположение не имеет места, то вводим ограничения (5), в которых величина λ определена так, что указанные сдвиги возможны. Кроме сдвигов точек s_i , увеличим радиус покрывающих кругов на величину β .

По условию M^* кругов радиуса r и с центрами в точках $s_1, s_2, \dots, s_{M^*}$ множества G осуществляют k -покрытие G , тогда M^* кругов радиуса $r + \beta$ и с центрами в T_Δ тоже осуществляют k -покрытие G , следовательно, и k -покрытие множества T_Δ . Решим задачу (2)–(4) для радиусов кругов равных $r + \beta$ и при $\alpha = 0$. Следовательно, определим минимальное число n_1 кругов радиуса $r + \beta$, которые обеспечивают k -покрытие T_Δ и центры кругов находятся в точках из T_Δ . Очевидно, что $n_1 \leq M^*$. В результате мы знаем, как получить число n_1 , которое не превосходит числа кругов M^* . Отметим, что n_1 является приближенной нижней оценкой, т.е. выполняется неравенство $n_1 \leq M^*$, но возможно, что n_1 можно увеличить, сохраняя неравенство $n_1 \leq M^*$.

Приближенная нижняя оценка числа кругов, получаемых указанным способом, может возрастать при уменьшении величины Δ .

Для примера рассмотрим однократное покрытие единичного квадрата кругами радиуса 0.3. Выберем последовательно Δ равным 0.1, 0.05, 0.025 и 0.0125. Реализуя указанную процедуру, получим нижние оценки чисел кругов 4, 5, 5 и 6 соответственно (как уже указано, минимально возможное число кругов равно 6).

Таким образом, для получения оптимального числа M^* кругов, образующих k -покрытие множества G , выбираем шаг Δ сетки, строим множество T_Δ и решаем указанную задачу 0-1 ЛП. В результате получаем некоторое число M_t кругов и расположение их центров. При уменьшении Δ величина M_t , как правило, уменьшается. Так как мы можем найти нижнюю оценку n_1 для M^* то имеем $n_1 \leq M^* \leq M_t$. Разность $\varepsilon = M_t - n_1$ позволяет оценить приемлемость

найденной величины M_t . Если $\varepsilon = 0$, то найденное значение M_t улучшить нельзя и $M_t = M^*$.

При получении указанной величины n_1 полагалось, что центры кругов оптимального покрытия можно сдвинуть в точки из T_Δ таким образом, что каждая точка из T_Δ совпадает не более чем с одним из возможных центров кругов. Если это условие нельзя соблюсти и подобрать величину λ для его выполнения, то модель (2)-(4) либо (2)-(5) не даст нужного результата. В этом случае нужно в этих моделях заменить ограничение (4) на следующее:

$$z_i \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}, 1 \leq i \leq n \quad (6)$$

Тогда, решая указанные системы, в которых (4) заменено на (6), получим требуемую величину n_1 , являющуюся (приближенной) нижней оценкой для M^* .

Список литературы

1. Громазин О.А., Пархачёв В.В., Филимонов А.В., Чириков А.М., Шишалов И.С. Оптимальное размещение видеосенсоров для повышения эффективности автоматизированного обнаружения лесных пожаров на ранней стадии // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства № 3, 2014. С. 63-72
2. <http://www.fire-watch.de>
3. Chowdary V., Gupta M.K. A Review on Forest Fire Detection Techniques: A Decadal Perspective // International Journal of Engineering & Technology 7(3.12):1312 July 2018.
4. Zhang, Q.-x., et al., Wildland Forest Fire Smoke Detection Based on Faster R-CNN using Synthetic Smoke Images // Procedia Engineering, 2018. 211: p. 441-446.
5. Ko B.C., K.-H. Cheong, and J.-Y. Nam, Fire detection based on vision sensor and support vector machines // Fire Safety Journal, 2009. 44(3): p. 322-329.
6. Stavrosa E.N., Coenb J., Petersonc B., Singhd H., Kennedye K., Ramireze C., Schimela D. Use of imaging spectroscopy and LIDAR to characterize fuels for fire behavior prediction // Remote Sensing Applications: Society and Environment. V. 11 (2018), pp. 41-50.
7. Фейсун Том Л. Расположения на плоскости, на сфере и в пространстве. М.: Физматгиз, 1958.
8. Fejes Tóth G. Multiple packing and covering of the plane with circles // Acta Math. Acad. Sci. Hungar. (1976) 27, № 1-2, 135-140.
9. Fejes Tóth G. Packing and covering // In: Handbook of Discrete and Computational Geometry. Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 2017. pp. 27-66.
10. Галиев Ш.И., Карпова М.А. Оптимизация многократного покрытия ограниченного множества кругами // Журнал вычисл. матем. и матем. физ. Т. 50. 2010. – №7. – С. 757–769.
11. Galiev Sh.I., Khorkov A.V. On the number and arrangement of sensors for multiple covering of bounded plane domains.// Journal of applied and industrial mathematics, 2019, Vol. 13, No. 1, pp. 43-53.
12. Galiev Sh.I., Lisafina M.S. Linear models for the approximate solution of the problem of packing equal circles into a given domain // European Journal of Operational Research. 2013. - V. 230, 505-514.
13. Garey M.R., Jonson D.S. Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness. New York, NY, USA: W. H. Freeman & Co., 1990.
14. Megiddo N., Supowit K.J. On the complexity of some common geometric location problems // SIAM J. Comput., Vol. 13, No. 1, 1984. pp. 182-196.
15. Khachai M.Y., Poberii M.I. The computational complexity and approximability of a series of geometric covering problems // Trudy Inst. Mat. i Mekh. UrO RAN, Vol. 18, No. 3, 2012. pp. 247-260.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS****Н.С. Алексеев, В.А. Осипова
МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПОЛНОЙ ПОРЯДКОВОЙ
КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ИНФОРМАЦИИ О
СРАВНИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ**

Ключевые слова: порядковая классификация, вербальная оценка, качественные критерии, сравнительная важность критериев, векторная оценка варианта.

В статье предложена усовершенствованная методика построения полной порядковой классификации для случая, когда варианты сравниваются по критериям с вербальными шкалами и характеристика классов решений также является вербальной. Методика представляет собой развитие известного алгоритма ЦИКЛ использующее информацию о сравнительной важности критериев.

**Г.А. Ахмедьянова
МНОГОУРОВНЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ
КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ВУЗА**

Ключевые слова: компетентность, компетенции, готовность к профессиональной деятельности, иерархичность, многоуровневая оценка, организационные воздействия.

В работе исследуется иерархия управления развитием главного результата образовательного процесса – компетентностью выпускника. Предлагается вводить пять уровней. Первый составляет педагогическая система включающая обучающегося с преподавателем, а также методические, теоретические и практические материалы. Второй уровень иерархии отвечает за организацию образовательного процесса. На третьем уровне контролируется развитие компетенций, предусматриваемых образовательным стандартом. Четвертый уровень отвечает за готовность к профессиональной деятельности. Такое многоуровневое управление вносит большее понимание в оценку результатов управления развитием компетентности в каждый момент времени и раскладывает необходимые воздействия на независимые составляющие, что позволяет оценивать их вклад в достижение цели верхнего уровня и соответственно кумулятивно выделять управляющие ресурсы.

**К.З. Билятдинов
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕЗЕРВОВ БОЛЬШИХ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Ключевые слова: архив, база данных, время, большая техническая система, информация, ресурсы, интеграционные резервы.

Рассматривается способ формирования информационных резервов, основанный на разделении информации в системе на две части в зависимости от востребованности сведений и в дальнейшей регламентации доступа по схеме: «база данных основных сведений – архив – внешние источники информации». Применение способа обеспечивает сокращение времени обработки информации.

**К.З. Билятдинов
КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Ключевые слова: методика, оценка, техническая система, качество, усовершенствованный метод парных сравнений, управление.

Представлена методика оценки качества, основанная на комплексном использовании статистической и экспертной информации посредством применения взаимосвязанных расчетных таблиц, усовершенствованного метода парных сравнений, проверки данных на непротиворечивость и идентификации источников получения информации.

**N.S. Alekseyev, V.A. Osipova
METHODOLOGY FOR BUILDING A FULL ORDER
CLASSIFICATION WITH INFORMATION ABOUT
COMPARATIVE IMPORTANCE OF CRITERIA**

Keywords: ordinal classification, verbal assessment, qualitative criteria, comparative importance of criteria, vectorial assessment of a variant.

The article proposes an improved methodology for constructing a complete ordinal classification for the case when the options are compared by criteria with verbal scales and characteristic of decision classes is also verbal. The technique is a development of the well-known CYCL algorithm using information of the comparative importance of criteria.

**G.A. Akhmedyanova
MULTI-LEVEL MANAGEMENT OF THE COMPETENCE
DEVELOPMENT OF THE STUDENT UNIVERSITY**

Keywords: competence, competencies, readiness for professional activity, hierarchy, multilevel assessment, organizational impact.

The paper investigates the hierarchy of management of the development of the main result of the educational process - the competence of the graduate. It is proposed to introduce five levels. The first is a pedagogical system that includes a student with a teacher, as well as methodological, theoretical and practical materials. The second level of the hierarchy is responsible for organizing the educational process. At the third level, the development of competencies provided by the educational standard is controlled. The fourth level is responsible for the readiness for professional activity. Such multi-level management brings greater understanding to the assessment of the results of management of competence development at each moment of time and lays out the necessary impacts on independent components, which allows us to assess their contribution to the achievement of the top-level goal and, accordingly, cumulatively allocate management resources.

**K.Z. Biliatdinov
IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF
INFORMATION RESERVES OF BIG TECHNICAL
SYSTEMS IN THE OPERATIONAL PROCESS**

Keywords: archive, database, time, big technical system, information, resources, integration reserves.

The article describes a method of formation of information reserves based on the division of the information within a system into two parts depending on the demand for the information. Then, the access to this information is proposed to be given according to the scheme: database of the core information – archive – external sources of the information. Application of this approach on practice leads to the decrease of information processing time.

**K.Z. Biliatdinov
COMPLEX METHOD OF QUALITY ASSESSMENT OF
BIG TECHNICAL SYSTEMS**

Keywords: method, assessment, technical system, quality, management, improved method of paired comparisons.

The article describes a method of quality assessment based on the complex use of statistic and expert information by means of application of interdependent computational tables, improved method of paired comparisons, data-consistency check and identification of the sources of information.

А.В. Бродский, И.Б. Гинзбург, В.А. Столярчук
ЭВОЛЮЦИЯ СПОСОБОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, технологии дистанционного обучения, развитие способов дистанционного обучения.

В статье описана эволюция организационных практик и технологий для обеспечения процесса дистанционного обучения студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также слушателей курсов профессиональной переподготовки. В данном контексте учащиеся представляются людьми взрослыми и обладающими определенной самостоятельной мотивацией к освоению учебного материала. Рассматриваются общие цели и задачи дистанционного обучения, вопросы организации процесса дистанционного обучения и инструментарий для преподавателей и студентов, используемый в данном процессе.

Д.С. Горбатенко
НЕТРЕЗВОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЯ КАК ПРИЧИНА
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

Ключевые слова: безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие, алкогольное опьянение, наркотическое опьянение, нетрезвое состояние, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.

В статье рассматривается проблематика управления транспортными средствами водителями, находящимися в алкогольном или наркотическом опьянении. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием водителей, находящихся в нетрезвом состоянии. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности по вине водителей, находящихся в нетрезвом состоянии.

А.В. Ишмаева, А.М. Пищухин
О СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ
КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ

Ключевые слова: кадастровая оценка, метасистемный подход, разрешенное использование недвижимости, рыночная стоимость, муниципальный бюджет.

Доходная часть бюджетов муниципальных образований во многом зависит от пополнения собственных средств муниципалитетов, в том числе пополнения от налогов и сборов. Налоговую базу для расчета земельного налога формирует кадастровая стоимость земельного участка, которая зависит от многих факторов. В зависимости от имеющихся на земле объектов недвижимости, от установленных правилами землепользования и застройки видов разрешенного ее использования и других сопутствующих факторов изменяется (переключается) модель кадастровой оценки. Для систематизации этих переключений в статье разрабатывается метасистемный подход к выбору модели определения кадастровой стоимости земельного участка. Такой адаптивный выбор позволяет сделать справедливой расчет кадастровой стоимости и существенно снизить процент оспаривания ее размера, способствуя пополнению муниципального бюджета

А.М. Пищухин
УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
КАК АБСТРАКТНЫМ ОБЪЕКТОМ

Ключевые слова: экологическая безопасность, абстрактный объект управления, параметрические воздействия, структурные воздействия, организационные воздействия, оптимальное распределение ресурсов.

В работе исследуется многоуровневое управление экологической безопасностью региона. Поскольку это понятие абстрактное, все воздействия, равно как и определение уровня экологической безопасности должны проводиться на нижних уровнях. При этом воздействия не дублируют функции подсистем управления

A.V. Brodsky, I.B. Ginzburg, V.A. Stolyarchuk
DISTANCE LEARNING METHODS' EVOLUTION
Keywords: distance learning organization, distance learning tools, distance learning technologies, distance learning methods development.

The article describes the organizational practices and technologies evolution to ensure the distance learning process for higher educational institutions students and postgraduates, and professional retraining courses students. In this context, students are considered to be mature enough to have a certain independent motivation to master the educational material. The general goals and objectives of distance learning, organizing the distance learning process issues and tools for teachers and students used in this process are considered.

D.S. Gorbatenko
SLUDDEN CONDITION OF THE DRIVER AS A CAUSE
OF ROAD TRANSPORTATION ACCIDENT

Keywords: traffic safety, road traffic accident, alcohol intoxication, drug intoxication, drunkenness, traffic violations, accident prevention.

The article deals with the problem of driving vehicles under the influence of alcohol or drugs. The analysis of the main causes of road traffic accidents involving drunk drivers is carried out. Proposed and theoretically substantiated measures for the prevention of accidents caused by drunken drivers.

A.V. Ishmaeva, A.M. Pishchukhin
ABOUT SYSTEMATIZATION OF THE CADASTRE
ASSESSMENT PROCEDURE

Keywords: cadastral valuation, metasystem approach, permitted use of real estate, market value, municipal budget. The revenue side of the budgets of municipalities largely depends on the replenishment of municipalities' own funds, including replenishment from taxes and fees. The tax base for calculating the land tax is formed by the cadastral value of the land plot, which depends on many factors. Depending on the real estate objects on the land, on the types of permitted use established by the rules of land use and development, and other related factors, the cadastral valuation model changes (switches). To systematize these switches, the article develops a metasystem approach to the choice of a model for determining the cadastral value of a land plot. Such an adaptive choice makes it possible to make a fair calculation of the cadastral value and significantly reduce the percentage of challenging its size, contributing to the replenishment of the municipal budget

A.M. Pishchukhin
ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT AS AN
ABSTRACT OBJECT

Keywords: environmental safety, abstract control object, parametric impacts, structural impacts, organizational impacts, optimal resource allocation.

The work examines the multilevel management of the ecological safety of the region. Since this concept is abstract, all actions, as well as the determination of the level of environmental safety should be carried out at lower levels. At the same time, the impacts do not duplicate the functions of the control subsystems of the lower levels and are decomposed into

нижних уровней и раскладываются на параметрические, структурные и организационные. Оценка уровня экологической безопасности складывается из текущей оценки состояния всех элементов экологической системы, из оценки готовности служб ликвидации экологических угроз, а также из прогноза экологической обстановки. В работе так же разработана методика снижения экологических угроз с оптимизацией применяемых управляющих ресурсов. Она ранжирует экологически опасные объекты в порядке убывания коэффициента равного произведению степени опасности на затраты по снижению на единицу этой степени опасности и на основе минимизации лагранжиана оптимально распределяет выделенные управляющие ресурсы.

Ю.Ж. Дондоков, Д.А. Бетюнская, А.П. Алексеев
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗА
ПУТЕМ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА

Ключевые слова: сбраживание навоза, технология переработки навоза, утилизация, экологичность, экономический эффект.

На современном этапе основа для производства биогаза в сельском хозяйстве – утилизация отходов растениеводства и навозных стоков животноводческих ферм. Биогаз благодаря высоким антидетонационным свойствам может служить отличным топливом для двигателей внутреннего сгорания с принудительным зажиганием, а также для дизелей, не требуя их дополнительного переоборудования (проводятся лишь регулировки системы питания). При использовании биогаза в качестве топлива для дизельных двигателей необходимо очистить его от сероводорода, воды и углекислого газа, а также компримировать (сжать) для более эффективного заполнения баллонов. Отсутствие технологий по переработке навоза приводит к многолетним накоплениям навоза около ферм, расположенных рядом с естественными водоемами, что влечет за собой их сильное загрязнение. Так, из-за попадания в озера биогенных элементов содержание нитратов, нитритов, аммония и фосфатов превышает допустимые нормы. В некоторых озерах Заречной группы районов Республики Саха (Якутия) отмечено превышение ПДК нитратов в 110-120 раз, фосфатов - в 70-80 раз. В статье описан метод переработки отходов животноводческих ферм, для обеспечения экологичности. Метод заключается в метановом сбраживании навоза и выделением газа.

Г.Е. Кокиева, Т.М. Пудова
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УБОЯ И ГЛУБОКОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Ключевые слова: производительность, скотобойный пункт, способ убоя, технологические свойства, ветеринарно-санитарный контроль, продукция, убойные животные, животноводческий комплекс, подворный убой.

Убой и первичная обработка сельскохозяйственных животных в нашей стране, в основном, осуществляются на мясокомбинатах, хладобойнях, скотобойных пунктах и оборудованных площадках животноводческих хозяйств. Кроме того, перерабатывают животных в производственных цехах животноводческих комплексов, коровниках, свиарниках, кошарах, загонках и пастбищах. Широко распространены подворный убой и переработка животных. Однако все перечисленные дополнительные места неприемлемы, так как они не отвечают элементарным ветеринарно-санитарным требованиям. К сожалению, в непригодных местах перерабатывается сегодня около 10% убойных животных. Естественно, все это ведёт к росту инфекционных заболеваний и существенному ухудшению качества продукции. В месте с тем, в настоящее время мясо является основным источником белков, животных жиров, минеральных и других веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности человеческого организма. Особенно велика роль мяса как главного и практически единственного источника вышеуказанных веществ

parametric, structural and organizational. An assessment of the level of environmental safety consists of a current assessment of the state of all elements of the ecological system, an assessment of the readiness of services to eliminate environmental threats, as well as a forecast of the environmental situation. The work also developed a methodology for reducing environmental threats with the optimization of the applied control resources. It ranks ecologically hazardous objects in descending order of the coefficient equal to the product of the hazard degree by the cost of reducing this hazard degree by one unit and, based on minimizing the Lagrangian, optimally distributes the allocated control resources.

Yu.Zh. Dondokov, D.A. Betyunskaya, A.P. Alekseev
TECHNOLOGICAL BASIS OF MANURE PROCESSING
BY MICROBIC SYNTHESIS

Keywords: fermentation of manure, manure processing technology, utilization, environmental friendliness, economic effect.

At the present stage, the basis for the production of biogas in agriculture is the utilization of crop waste and manure from livestock farms. Due to its high anti-knock properties, biogas can serve as an excellent fuel for internal combustion engines with forced ignition, as well as for diesel engines, without requiring additional re-equipment (only adjustments of the power supply system are carried out). When biogas is used as a fuel for diesel engines, it is necessary to remove hydrogen sulfide, water and carbon dioxide from it, as well as to compress (compress) it for more efficient filling of cylinders. The lack of technologies for processing manure leads to long-term accumulation of manure near farms located near natural water bodies, which entails their severe pollution. So, due to the ingress of nutrients into the lake, the content of nitrates, nitrites, ammonium and phosphates exceeds the permissible limits. In some lakes of the Zarechnaya group of districts of the Republic of Sakha (Yakutia), an excess of the MPC for nitrates by 110-120 times, and phosphates by 70-80 times was noted. The article describes a method for processing waste from livestock farms to ensure environmental friendliness. The method consists in methane fermentation of manure and gas evolution.

G.E. Kokieva, T.M. Pudova
TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR SLAUGHTER AND
DEEP PROCESSING OF AGRICULTURAL ANIMALS

Keywords: productivity, slaughterhouse, method of slaughter, technological properties, wind and sanitary control, products, slaughter animals, livestock complex, backyard slaughter.

Slaughter and primary processing of farm animals in our country are mainly carried out at meat processing plants, slaughterhouses, slaughterhouses and equipped areas of livestock farms. In addition, animals are processed in the production workshops of livestock complexes, cowsheds, pigsties, sheds, corrals and pastures. Household slaughter and processing of animals are widespread. However, all of the listed additional places are unacceptable, since they do not meet basic veterinary and sanitary requirements. Unfortunately, today about 10% of slaughtered animals are processed in unsuitable places. Naturally, all this leads to an increase in infectious diseases and a significant deterioration in product quality. At the same time, at present, meat is the main source of proteins, animal fats, minerals and other substances necessary for the normal functioning of the human body. The role of meat is especially great as the main and practically the only source of the above substances in areas with a harsh and unfavorable climate, not suitable for crop production, in particular the Far North. However, the quality of meat, its nutritional value and technological properties are

в районах с суровым и неблагоприятным климатом, не пригодным для растениеводства, в частности Крайнего Севера. Однако качество мяса, его пищевая ценность и технологические свойства находятся в прямой и непосредственной зависимости от применяемых способов уояа и первичной переработки убойных животных. Как уже указывалось, и в нашей стране, и за рубежом, основная масса сельскохозяйственных животных забивается и перерабатывается на мясокомбинатах или стационарных скотобойных пунктах. В настоящее время разработан ряд проектов таких пунктов производительностью 5-7-10-25 голов в смену.

Н.А. Кошелева, Г.С. Сероваев, Г.Н. Гусев
**ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВСТРОЕННЫХ В
 ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ БЕТОННЫЙ ОБРАЗЕЦ ВОЛОКОННО-
 ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ
 СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ**

Ключевые слова: встроенные волоконно-оптические датчики, волоконная брэгговская решетка, бетон.

В работе приводится экспериментальное исследование работоспособности и надежности показаний, встроенных в цилиндрический бетонный образец, датчиков на основе волоконной брэгговской решетки под действием внешней одноосной сжимающей нагрузки. Показания встроенных волоконно-оптических датчиков деформаций сравниваются с традиционными тензодатчиками, приклеенными на поверхность образца.

А.В. Милов, В.С. Тынченко, С.О. Курашкин,
 А.В. Мuryгин, В.Е. Петренко
**ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ
 МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ
 МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВВОДА-ВЫВОДА
 ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ**

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, имитационное моделирование, электронный пучок, оптимизация, математические модели, ввод-вывод электронного луча.

Статья посвящена обзору подходов, используемых для моделирования тепловых процессов, происходящих при электронно-лучевой сварке тонкостенных изделий с использованием программных комплексов: ANSYS, Comsol Multiphysics, Abaqus и NX Nastran.

Т. А. Чуваткина, А. В. Агапов, Д. В. Камчатов, Е. Ю. Королев
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ
 ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ**

Ключевые слова: суспензия, программный код, автоматизация, процесс, программа, хризотилцемент.

В данной работе представлены результаты разработки программного кода, предназначенного для автоматизации процесса изготовления хризотилцементной суспензии. Представленная программа позволяет увеличить производительность процесса приготовления хризотилцементной суспензии и обеспечить минимальное вмешательство оператора и тем самым исключает возможность возникновения ошибки оператора способной повлиять на процессе приготовления.

С.А. Ягловский, С.В. Степанова, Д.Н. Юмшанов
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО
 КОНЦЕНТРАТА**

Ключевые слова: безотходная технология, кормление сельскохозяйственных животных, рацион кормов, продуктивность, питательные вещества, полноценные кормосмеси, развитие животноводства, потребность в кормовой базе.

Сельское хозяйство Якутии – это уникальная, особо сложная производственная, социально-экономическая и экологическая система, в которой такие сельскохозяйственные отрасли, как животноводство и земледелие развиваются в чрезвычайно

in direct and immediate dependence on the methods of slaughtering and primary processing of slaughtered animals. As already mentioned, both in our country and abroad, the bulk of farm animals are slaughtered and processed at meat processing plants or stationary slaughterhouses. Currently, a number of projects have been developed for such stations with a productivity of 5-7-10-25 heads per shift.

N.A. Kosheleva, G.S. Serovaev, G.N. Gusev
**OPERABILITY VERIFICATION OF THE FIBER OPTIC-
 STRAIN SENSORS EMBEDDED INTO A CYLINDRICAL
 CONCRETE SAMPLE UNDER COMPRESSING LOAD**
Keywords: embedded fiber-optic sensors, fiber Bragg grating, concrete

The paper presents an experimental study of the performance and reliability of data received from fiber Bragg grating sensors embedded into a cylindrical concrete sample, under an external uniaxial compressive load. The readings of the embedded fiber-optic strain sensors are compared with traditional strain gauges glued to the sample surface.

A.V. Milov, V.S. Tynchenko, S.O. Kurashkin,
 A.V. Murygin, V.E. Petrenko
**EXPERT ANALYSIS OF THE MARKET OF MODELING
 SYSTEMS FOR VERIFICATION OF MATHEMATICAL
 MODELS OF INPUT-OUTPUT OF AN ELECTRON BEAM
 DURING WELDING**

Keywords: electron beam welding, simulation, electron beam, optimization, mathematical models, electron beam input-output.

The article is devoted to an overview of approaches used to simulate thermal processes occurring during electron beam welding of thin-walled products using software systems ANSYS, Comsol Multiphysics, Abaqus and NX Nastran.

T.A. Chuvatkina, A.V. Agapov, D.V. Kamchatov, E.Y. Korolev
**AUTOMATION OF CHRYSOTILECEMENT SUSPENSION
 PREPARATION PROCESS**

Keywords: suspension, program code, automation, process, program, chrysotilecement.

This paper presents the results of the development of a program code designed to automate the manufacturing process of chrysotilecement suspension. The presented program allows you to increase the productivity of the chrysotilecement suspension preparation process and ensure minimal operator intervention, and thereby excludes the possibility of an operator error that could affect the preparation process.

S.A. Yaglovsky, S.V. Stepanova, D.N. Yumshanov
**NEW TECHNOLOGIES FOR PRODUCING PROTEIN
 CONCENTRATE**

Keywords: waste-free technology, feeding farm animals, feed ration, productivity, nutrients, complete feed mixtures, development of animal husbandry, the need for a feed base.

Agriculture in Yakutia is a unique, especially complex production, socio-economic and ecological system, in which agricultural sectors such as animal husbandry and agriculture develop in extremely harsh natural and climatic conditions. The selection or development of the right feed or feed additives has a major impact on the growth, development and overall

суровых природно-климатических условиях. Подбор или разработка подходящего корма или кормовых добавок как ничто другое оказывает большое влияние на рост, развитие и общую производительность животных. Поэтому многие специалисты сосредотачивают свое внимание на использовании и совершенствовании современных технологий в производстве кормов и кормовых добавок, которые будут обеспечивать сельскохозяйственных животных необходимыми витаминами и макро-, микроэлементами, что безусловно является актуальным для современного сельского хозяйства. В статье описано устройство ферментатора, также проведен анализ выполненных расчетов.

И.К. Алайцев, Т.В. Данилова, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев
СОЗДАНИЕ АНАТОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА
СПИНЫ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАММЫ
ДЛЯ ЭПИДУРАЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА

Ключевые слова: виртуальная реальность, анатомия,
компьютерная томография, сегментация, симуляционное
обучение.

Для выполнения эпидуральной пункции необходимы знание анатомии спины и позвоночника, а также умение точно контролировать движение иглы. Средства виртуальной реальности позволяют создать систему для приобретения указанных навыков. В статье представлена методика создания анатомических моделей на основе данных компьютерной томографии высокого разрешения, пригодных для использования в системах виртуальной эпидуральной симуляции. Полученные таким способом модели имеют высокую детализацию и могут использоваться как для графического рендеринга, так и для моделирования физики эпидурального прокола.

Т.И. Каримов, А.И. Каримов, В.Ю. Островский, А.Г. Давидчук
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР С УЧЕТОМ
ОРГАНИЗАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ключевые слова: САПР, организационно-технические системы,
моделирование, оптимизация, графическая нотация.

В данной работе предложена методика анализа и оптимизации интегрированных САПР как гетерогенных организационно-технических систем с помощью имитационного моделирования. Предложена новая нотация для создания графических моделей САПР, основанная на нотации UML. Разработана программная среда дискретно-событийного моделирования САПР, анализирующая схемы, созданные с применением данной нотацией. Результаты показывают, что учет в модели всех ресурсов проектной организации, включая технику и специалистов, позволяет произвести выявление узких мест процесса проектирования, оценить и повысить максимально выполнимый объем проектных работ с минимальными затратами.

А.А. Голубничий, В.А. Мясоедова
АНАЛИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ SDK ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Ключевые слова: SDK, мобильная разработка,
геоинформационные системы, критерии качества
программного обеспечения.

В работе рассматриваются общие сведения о SDK, анализируется связь между SDK и API. Приводится набор критериев для сравнения качества SDK. Перечисляются и анализируются популярные SDK, используемые в работе с геоинформационными системами при разработке мобильных приложений. Приводится пример использования SDK Maps от компании Google.

А.К. Байбулов, Н.В. Иваницкая
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОГО ПЛОСКОГО
ДНИЩА С РАДИАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ
РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

Ключевые слова: плоское днище, ребра жесткости,
напряженно-деформированное состояние, оптимизация,

performance of animals like nothing else. Therefore, many specialists focus their attention on the use and improvement of modern technologies in the production of feed and feed additives that will provide farm animals with the necessary vitamins and macro-microelements, which is undoubtedly relevant for modern agriculture.

I.K. Alaytsev, T.V. Danilova, A.O. Manturov, G.O. Mareev
CREATION OF ANATOMICAL MODEL OF BACK AREA
BASED ON HIGH-RESOLUTION COMPUTED
TOMOGRAPHY DATA

Keywords: virtual reality, anatomy, computed tomography,
segmentation, simulation, education.

Epidural puncture is a common procedure in anesthesiology. Performing it requires good knowledge of the anatomy of the back and spine and precise control of the needle movement. Virtual reality provides efficient tools for acquiring the required knowledge and skills. The paper presents a technique for creation of anatomical models suitable for use in virtual epidural simulation systems based on high-resolution computed tomography data. The resulting models are highly detailed and can be used for both graphical rendering and physics simulation.

T.I. Karimov, A.I. Karimov, V.Y. Ostrovskii, A.G. Davidchuk
DISCRETE-EVENT SIMULATION AND OPTIMIZATION
OF INTEGRATED CAD SYSTEMS RESPECTING
ORGANIZATION STRUCTURE

Keywords: CAD, organizational and technical systems,
simulation, optimization, graphic notation.

This paper proposes a simulation-based technique for the analysis and optimization of integrated CAD systems as heterogeneous organizational and technical structures. A new notation for CAD graphic modeling based on the UML notation is proposed. A software environment for discrete-event CAD simulation has been developed that analyzes schemes created using this notation. The results show that taking into account all the resources of the design organization, including equipment and staff, in the model makes it possible to identify bottlenecks in the design process, evaluate and increase the maximum feasible amount of design work with minimal costs.

A.A. Golubnichiy, V.A. Myasoedova
ANALYSIS OF GEOINFORMATION SDK FOR
DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATION

Keywords: SDK, mobile development, geographic information
systems, criteria of software quality.

The article considers general information about the SDK, analyzes the relationship between the SDK and the API. A set of criteria for comparing SDK quality is provided. The popular SDKs used in working with geoinformation systems in the development of mobile applications are listed and analyzed. Using an example, the Maps SDK from Google.

A.K. Baibulov, N.V. Ivanitskaya
OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A ROUND FLAT
HEAD WITH THE RADIAL ARRANGEMENT
OF THE RIBS

Keywords: flat head, finned head, stiffeners, stress-strain state,
optimization, computer modeling.

материалоемкость, компьютерное моделирование.

Представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния гладкого и оребренного плоских днищ, находящихся под избыточным давлением. Определены оптимальные параметры ребер жесткости и стенок плоских днищ различного диаметра, обеспечивающие минимальную материалоемкость конструкции.

А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев,

Д.И. Нуретдинов, Ш.С. Хуснетдинов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ ИНЕРЦИОННОГО СИНХРОНИЗАТОРА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

Ключевые слова: коробка передач, переключение передачи, инерционный синхронизатор, конусная муфта, удельная работа трения, работа буксования, блокирующее устройство.

В статье рассмотрен рабочий процесс инерционного синхронизатора с конусной муфтой, применяемого в автомобильных коробках передач. Отмечена необходимость учета влияния внешней среды при определении технических параметров механизма. Предложена уточненная методика оценки нагруженности и работоспособности элементов синхронизатора.

Д.А. Галдин, В.О. Каледин

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИНАХ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Ключевые слова: ортотропная пластина, расслоения, температурное поле.

Исследуется модель теплового неразрушающего контроля пластин из материалов, подверженных расслоениям. Разработан алгоритм обработки динамических термограмм, позволяющий определить границы дефекта. Точность результатов обработки термограмм по предложенному алгоритму исследована на физическом эксперименте.

В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина

МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОДНОФАЗНОЙ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Ключевые слова: пограничный слой, коэффициент теплоотдачи, параметры подобия: число Рейнольдса (Re), число Прандтля (Pr), число Нуссельта (Nu).

Отличительными особенностями теплообмена в системах охлаждения дизельных двигателей являются первая – стационарность, вторая – выполнение условия $Pr > 1$ ($Pr = 0(1)$). Это позволяет не учитывать внешнюю (струйную) часть пограничного слоя. В [1] рассматривается редукция расчета струйного пограничного слоя на задачу Коши для уравнения неустановившейся теплопроводности. В предлагаемой модели используется аналогичная идея для расчёта неструйных пограничных слоев на поверхностях охлаждения гильз цилиндров дизелей. Модель позволяет рассчитывать поля коэффициентов теплоотдачи на этих поверхностях. Это дает возможность учитывать, как влияние расположения подводящих и отводящих отверстий, так и обращение циркулирующей охлаждающей жидкости на теплоотдачу.

В.О. Каледин, Д.А. Галдин, А.Д. Ульянов

РАЗРАБОТКА ИНФРАСТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ПОДДЕРЖКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОБЪЕКТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Ключевые слова: параллельное выполнение, функционально-объектная сеть, визуальное программирование, комплекс программ, архитектура.

Рассмотрены изменения архитектуры среды функционально-объектного программирования «Алгозит», которые были произведены в целях уменьшения времени выполнения созданных

The results of a study of the stress - strain state of smooth and finned flat bottoms under excessive pressure are presented. The optimal parameters of stiffeners and walls of flat bottoms of various diameters that provide minimal material consumption of the structure are determined.

A.Yu. Barykin, R.M. Galiev,

D.I. Nuretdinov, Sh.S. Husnetdinov

MATHEMATICAL MODEL OF THE LOAD OF THE INERTIAL SYNCHRONIZER OF THE GEARBOX

Keywords: gearbox, gear change, inertial synchronizer, cone clutch, specific friction work, slip work, locking device.

The article describes the workflow of an inertial synchronizer with a cone clutch used in automotive gearboxes. The need to take into account the influence of the external environment when determining the technical parameters of the mechanism is noted. A refined technique for assessing the load and operability of the synchronizer elements is proposed.

D.A. Gadlin, V.O. Kaledin

NONDESTRUCTIVE TESTING OF COMPOSITE PLATES USING THERMOGRAPHY AND THERMAL FIELD MODELLING

Keywords: orthotropic plate, disbonds, thermal field.

Model of thermal nondestructive testing process for composite plates is researched. Algorithm for detecting boundaries of defects using dynamic thermograms is proposed. Accuracy of this algorithm is empirically evaluated.

V.A. Ivanov, I.A. Mutygullina

THE MODEL OF HEAT TRANSFER IN THE DIESEL ENGINE COOLING SYSTEM UNDER CONDITIONS OF SINGLE-PHASE FORCED CONVECTION

Keywords: boundary layer, heat transfer coefficient, similarity parameters: Reynolds number (Re), Prandtl number (Pr), Nusselt number (Nu).

Distinctive features of heat exchange in diesel engine cooling systems are the first-stationarity, the second-fulfillment of the condition $Pr > 1$ ($Pr = 0(1)$). This allows you to ignore the outer (jet) part of the boundary layer. In [1], a reduction of the calculation of the jet boundary layer to the Cauchy problem for the equation of unsteady thermal conductivity is considered. The proposed model uses a similar idea for calculating non-aligned boundary layers on the cooling surfaces of diesel cylinder liners. The model allows calculating the fields of heat transfer coefficients on these surfaces. This makes it possible to take into account both the influence of the location of the inlet and outlet holes, and the circulation of the coolant on heat transfer.

V.O. Kaledin, A.D. Ulyanov, D.A. Galdin INFRASTRUCTURE OF MULTITHREADING PROGRAM COMPLEX IN CONTEXT OF FUNCTION-OBJECT-BASED PROGRAMMING

Keywords: parallel execution, function object network, visual programming, applications complex, architecture.

Infrastructure changes of function-object-based development environment "Algozit" are considered. Changes were made with intentions of increasing execution speed of applications created with aforementioned environment.

на ней программ. Прирост скорости планируется получить за счёт параллельного выполнения независимых участков функционально-объектной сети.

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ РУК
В ПРИЛОЖЕНИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ
ДЛЯ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

Ключевые слова: виртуальная реальность, моделирование мелкой моторики рук, нейрореабилитация.

Статья посвящена проблеме моделирования движения рук как части интеллектуального решения для медицинской и социальной реабилитации, основанного на реализации виртуальной реальности с тактильной обратной связью. Предложенная математическая модель используется для съёма движения траектории пальцев кисти и воспроизведения движения суставов в виртуальном пространстве. Реализация модели позволяет воспроизводить и визуализировать действия рук пациента в среде виртуальной реальности.

Т.О. Корепанова, Е.А. Николаева
МЕТОДИКА ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА
РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА–КОЛЬСКОГО

Ключевые слова: сжатие, разрезной стержень Гопкинсона–Кольского, микроструктура; термодинамика.

В статье предложена новая схема разрезного стержня Гопкинсона–Кольского. Однократное нагружение позволяет исследовать микроструктуру материала образца в результате деформирования динамическим сжатием. Также становится возможным определение некоторых термодинамических характеристик.

Д.В. Ложкин, П.В. Максимов
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ
ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В РОССИИ НА
ОСНОВЕ ОБЗОРА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Ключевые слова: топологическая оптимизация, оптимальное проектирование, численные методы, механика.

В работе проведен анализ публикаций, посвященных проблемам топологической оптимизации. Материалом для анализа послужили статьи, опубликованные за период с 2015 по 2020 гг. В работе отражены исследовательские организации и научные коллективы, занимающиеся проблемами топологической оптимизации в России, представлено распределение работ по объектам исследований, применяемым алгоритмам и программному обеспечению. Даны ссылки на полный перечень работ по тематике.

Д.В. Ложкин, П.В. Максимов
ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КРОНШТЕЙНА В
ANSYS

Ключевые слова: топологическая оптимизация, оптимальное проектирование, минимизация массы, кронштейн, метод SIMP, ANSYS.

В работе выполнена топологическая оптимизация кронштейна, используемого в авиационной отрасли. Оптимизация детали проводилась в программной системе ANSYS. В работе представлена математическая постановка задачи топологической оптимизации, описаны основные этапы решения задачи, в том числе, выполнение самой оптимизации, геометрического перепроектирования детали, проверочных прочностных расчетов, оценки на потерю устойчивости. Полученная топология обладает наибольшей жесткостью при заданной массе и ограничении на интенсивность напряжений. Масса полученной в результате топологической оптимизации облегченной детали снижена на 36%.

Speed increase is expected to come from parallel execution of independent algorithmic blocks in function object network.

A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin, S.V. Rovnov, A.V. Ivaschenko
HAND MOTOR SKILLS SIMULATION IN VIRTUAL
REALITY APPLICATIONS FOR NEURO
REHABILITATION

Keywords: virtual reality, fine motor skills simulation, rehabilitation.

The paper is devoted to the problem of finger movements' simulation as a part of an intelligent solution for medical and social rehabilitation, based on the implementation of virtual reality with tactile feedback. The proposed mathematical model is used to capture the movement of the trajectory of the fingers and to reproduce the movements of the fingers and their joints in virtual space.

T.O. Korepanova, E.A. Nikolaeva
DYNAMIC LOADING TECHNIQUE
ON A SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR

Keywords: compression; split Hopkinson pressure bar; microstructure; thermodynamics.

The article proposes a new scheme of the split Hopkinson pressure bar. Single loading makes it possible to study the microstructure of the sample material as a result of deformation by dynamic compression. It also becomes possible to determine some of the thermodynamic characteristics.

D.V. Lozhkin, P.V. Maksimov
ANALYSIS OF APPLICATION AND DEVELOPMENT OF
TOPOLOGICAL OPTIMIZATION ALGORITHMS IN
RUSSIA BASED ON A REVIEW OF SCIENTIFIC
PUBLICATIONS

Keywords: topological optimization, optimal design, numerical methods, mechanics.

The publications devoted to the problems of topological optimization are analyzed in the paper. The material for the analysis were the articles published in the period from 2015 to 2020. The work reflects research organizations and research teams dealing with the problems of topological optimization in Russia, presents the distribution of work by research objects, algorithms and software. Links to a complete list of works on the subject are given.

D.V. Lozhkin, P.V. Maksimov
TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF BRACKET IN
ANSYS

Keywords: topological optimization, optimal design, mass minimization, bracket, SIMP method, ANSYS.

In the paper, the topological optimization of a bracket used in the aviation industry is implemented. Part optimization was carried out in the ANSYS software system. The mathematical formulation of the topological optimization problem is presented, the main stages of solving the problem, including the implementation of the optimization itself, the geometric redesign of the part, verification strength calculations, and the evaluation for the loss of stability are described. The resulting topology has the highest rigidity for a given mass and a constraint on the stress intensity. The weight of the lightweight part obtained as a result of topological optimization is reduced by 36%.

Е.Н. Мотрюк, О.Н. Бурмистрова
ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: нечеткое моделирование, функция принадлежности, оценка достоверности данных.

Обычно для наполнения геолого-геофизических моделей используется корреляционно-регрессионный анализ. Данный подход не позволяет учитывать неполноту, и накопление неопределенности информации при ее обработке, что приводит к ошибкам в принятии решений по разработке нефтяных и газовых месторождений. Предлагается использовать методы нечеткого моделирования. В этом случае для каждой модели будет известна информация о достоверности значений ее параметров по функции принадлежности.

И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, А.И. Энская
АЛГОРИТМ УТОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОЧНОСТИ
ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: дисперсно армированный полимерный композиционный материал, эффективные компоненты тензора модулей упругости, метод осреднения в периодических средах, локальные напряжения в ячейке периодичности, поверхность прочности гомогенной структуры.

В статье представлена математическая модель для определения эффективных компонент тензоров модулей упругости и локальных напряжений в ячейке периодичности на основе метода осреднения в периодических средах. Предложен алгоритм определения влияния на поверхность прочности гомогенной структуры внешней изотропной пленки в включение в полимерную матрицу изотропного элемента, а также переходного слоя, образовавшегося из-за диффузного проникновения материала пленки в материал включения.

С.А. Федосин, Н.П. Плотникова,
Е.А. Немчинова, А.В. Денискин,
ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИРОВАННОГО АЛГОРИТМА
WORD2VEC В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И
КЛАСТЕРИЗАЦИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ
ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: Word2Vec, классификация, кластеризация. В статье рассматривается адаптированная под задачи классификации и кластеризации нормативно-справочной информации версия алгоритма Word2Vec. Описывается порядок формирования окончательной модели. Приводятся примеры и способы применения полученной модели для решения задач классификации и кластеризации.

М.А. Шурьгина, А.В. Хорьков, Ш.И. Галиев
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАСПОЛОЖЕНИЯ
КАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА – ЧАСТЬ I

Ключевые слова: задачи наблюдения за лесными пожарами, модели покрытия, задачи покрытия, покрытие кругами заданного радиуса.

Представлены математические модели и алгоритмы определения минимального числа камер и их расположения для наблюдения (покрытия) части территории Республики Татарстан, расположенной на левом берегу реки Волги и правом берегу реки Камы при различных расстояниях, на которых наблюдение возможно. Проведен анализ математических моделей, введены ограничения между центрами покрывающих кругов и получены модели для нахождения приближенных нижних оценок чисел покрывающих кругов. Знание нижних оценок и полученного числа кругов позволит судить о приемлемости полученного решения.

E.N. Motryuk, O.N. Burmistrova
ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF GEOLOGICAL-
GEOPHYSICAL MODELS BY FUZZY MODELING
METHODS

Keywords: fuzzy modeling, membership function, data reliability assessment.

Usually, correlation and regression analysis is used to fill geological and geophysical models. This approach does not allow taking into account the incompleteness and the accumulation of uncertainty in information during its processing, which leads to errors in decision-making on the development of oil and gas fields. Proposes to use methods of fuzzy modeling. In this case, for each model, information about the reliability of the values of its parameters by the membership function will be known.

I.N. Sidorov, A.V. Gorelov, A.I. Enskaya
ALGORITHM FOR REFINING THE SURFACE OF
STRENGTH OF DISPERSEDLY REINFORCED
POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

Keywords: dispersedly reinforced polymer composite material, effective components of the elastic modulus tensor, averaging method in periodic media, local stresses in the periodicity cell, strength surface of a homogeneous structure.

The article presents a mathematical model for determining the effective components of tensors of elastic moduli and local stresses in the periodicity cell based on the method of averaging in periodic media. An algorithm is proposed for determining the effect on the surface of the strength of the homogeneous structure of an external isotropic film on the inclusion in the polymer matrix of an isotropic element, as well as a transition layer formed due to diffuse penetration of the film material into the inclusion material.

S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova,
E.A. Nemchinova, A.V. Deniskin
APPLICATION OF WORD2VEC ALGORITHM ADAPTION
FOR REFERENCE INFORMATION CLASSIFICATION
AND CLUSTERING

Keywords: Word2Vec, classification, clustering. This article describes adaptation and building of Word2Vec model for reference information classification and clustering. Some practical applications of the resulting model are described at the end.

M.A. Shurygina, A.V. Khorkov, Sh.I. Galiev
DETERMINATION OF NUMBER AND LOCATION OF
FIRE DETECTION CAMERAS FOR THE PART OF
TATARSTAN TERRITORY – PART I

Keywords: forest fire detection, circle covering models, covering problem, covering with given radius circles. We present mathematical models and algorithms for detection of the minimal number of fire watch cameras and their location for observation (covering) of the part of territory of the Republic of Tatarstan, located on the left Volga river bank and right Kama river bank, for different possible distances. We analyze mathematical models, in particular, we introduce bounds between the centers of the covering circles and present models for finding lower bound for the numbers of covering circles. Knowing such lower bounds and number of covering circles allow to analyze the acceptability of a solution obtained.

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 "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**

№11 2020

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

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 26.11.2020 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 26.11.2020

8,4 усл.печ.л. 9,6 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3070.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Цена свободная.

© Рашин Сайнс

тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Рашин Сайнс»