Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№11 2019

Направления:

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

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

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

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

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

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

Казань
2019

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №11 2019г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2019. – 198 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» № Е12025.

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, 2019 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

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

Г.Ф. Ахмедьянова АДАПТАЦИЯ CAD - СИСТЕМЫ К РЕШЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ 9
И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 12
И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев ОБЩИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ 16
В.В. Ершов ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛУЧЕВОЙ МИКРОФОННОЙ АНТЕННЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАСТРОЙКИ ЕЁ КОНФИГУРАЦИИ 20
П.С. Кулясов ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ КОМПОНЕНТНОЙ СБОРКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 24
А.О. Махорин ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ КОНФИГУРИРОВАНИЯ СЕТИ 28
К.М. Носков АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 31
О.П. Пусная, Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, В.В. Ломакин ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА 34
Н.П. Путивцева, В.В. Ломакин, Т.В. Зайцева, О.П. Пусная К ВОПРОСУ О СПЕЦИФИКЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЛАТФОРМАХ РАЗРАБОТКИ КИС 41
А.М. Станкевич ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ РАБОТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ 49

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

К.Г. Горгоц, О.В. Горгоц БЕСШАТУННЫЙ ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 52
А.В. Жданов, А.Н. Митрофанов, А.А. Хомяков, А.В. Степанова, С.А. Ланшаков КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗНОПРОФИЛЬНЫХ КУЛАЧКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ 57
А.В. Жданов, А.Н. Митрофанов, А.В. Черкасова АНАЛИЗ ЖЁСТКОСТИ И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ РВМ 61
В.Г. Зарубский РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО УСТОЙЧИВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЬЮТЕРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АРХИТЕКТУРЫ 65
Г.Е. Кокиева, И.В. Гоголева, Д.М. Ноев, В.П. Друзьянова АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОМБИНИРОВАННОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ 68
Г.Е. Кокиева, С.А. Ягловский, Ч.Г. Машиев, Д.М. Ноев, Е.И. Кондакова АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ВСКАРМЛИВАНИЯ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ 71

А.Р. Минулина, Т.Г. Макарова УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯМИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НОВЫМИ МЕТОДАМИ 74
А.А. Силаев, Е.Ю. Силаева, Е.С. Данилина, Н.С. Савина, В.С. Сапарова ЦИФРОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 77
Л.А. Симонова, Е.И. Егорова, А.И. Ахмадиев МОДУЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ 81
С.С. Федоров, Г.Е. Кокиева ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ОБЪЕДИНЕНИЯХ 88

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

А.И. Кононова ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЫХ ТОЧЕК ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФАЙЛА В ПИРИНГОВОЙ СЕТИ 92

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

Д.П. Сидоров, С.Д. Шибайкин, А.А. Аббакумов ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ 96
В.И. Хрусталев УЧЕТ ВИЗУАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В РЕЗУЛЬТАТООРИЕНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ 103

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

А.Н. Блазнов, А.С. Кротов, М.Е. Журковский МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ БАЛЛОНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ 106
Т.Н. Бобылева О ВЫЧИСЛЕНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕОДНОРОДНЫХ УПРУГО-ПОЛЗУЧИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ 110
И.И. Воротынцева, Н.О. Марценюк ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОБРАТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ 113
А.В. Денискин, Е.А. Немчинова, С.А. Федосин, Н.П. Плотникова КЛАССИФИКАЦИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ 116
Н.В. Дмитриев ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ 120
А.И. Егунова, А.А. Аббакумов, М.А. Воропаева, Д.П. Сидоров ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ 124
Е.Н. Канинина, В.В. Родин МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИНЫ 130
Л.В. Кирьянова ПЕРВОЕ СОБСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛИ БЕГЛИ-ТОРВИКА 134
О.Ю. Кустов, И.В. Храмцов ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕПОЛНЫХ БОКОВЫХ ЯЧЕЕК ОБРАЗЦА СОТОВОЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ 137

В.Е. Левин, Н.А. Лапердина, И.П. Олегин ЧИСЛЕННЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ 141
Д.П. Сидоров, А.А. Аббакумов, А.И. Егунова, С.Д. Шибайкин АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИМ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ 146
И.Н. Сидоров, М.С. Филиппова, А.И. Энская АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ЖЕСТКОСТИ НА КРУЧЕНИЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ 149
И.Н. Сидоров, М.С. Филиппова, А.И. Энская ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ 156
И.П. Ситдикова, Н.В. Абдулкина МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА 163
С.А. Соловьев, О.В. Соловьева, Р.Р. Хусаинов, Г.Р. Бадретдинова ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 167
С.А. Федосин, Н.П. Плотникова, А.И. Егунова, К.Э. Рыскин ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ 171
А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ 175

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

А.А. Шашков, В.А. Минаев МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТИ ВЫХОДНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЛИНЕЙНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ РЕГИСТРОВ СДВИГА 178
А.А. Шашков, В.А. Минаев МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ БЕЗ ПРЕВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОДАВЛЯЕМОГО СИГНАЛА 183

АННОТАЦИИ 187

THE RELEASE MAINTENANCE

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

G.F. Akhmedyanova ADAPTATION OF CAD-SYSTEM TO THE SOLUTION TECHNICAL IN-VENTIVE TASKS 9
I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM APPLICATIONS ANALYSIS FOR THE CLOUD TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION 12
I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev GENERAL APPROACH TO THE PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS INTEGRATION POSSIBILITIES ANALYSIS 16
V.V. Ershov DESIGNING THE CONSTRUCTION OF THE BEAM MICROPHONE ARRAY WITH THE QUICK RECONFIGURATION POSSIBILITY 20
P.S. Kulyasov GENERALIZED ALGORITHM FOR THE COMPONENT ASSEMBLY OF HIGHER EDUCATION EDUCATIONAL PROGRAMS 24
A.O. Makhorin FORMALIZATION OF THE NETWORK CONFIGURING PROBLEM 28
K.M. Noskov THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A CLASSIFIER OF MULTIDIMENSIONAL OBJECTS BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES 31
O.P. Pusnaya, N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, V.V. Lomakin PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE PLATFORM ON THE BASIS OF A PROBABILISTIC APPROACH 34
N.P. Putivzeva, V.V. Lomakin, T.V. Zaitseva, O.P. Pusnaya TO THE QUESTION ON THE SPECIFICITY OF IMPLEMENTATION OF MECHANISMS FOR MANAGING BUSINESS PROCESSES IN DOMESTIC PLATFORMS FOR CIS DEVELOPMENT 41
A.M. Stankevich FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF OPTIMAL WORK PACKAGES FORMATION FOR AIRCRAFT MAINTENANCE 49

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

K.G. Gorgots, O.W. Gorgots PISTON-FREE INTERNAL COMBUSTION ENGINE 52
A.V. Zhdanov, A.N. Mitrofanov, A.A. Homyakov, A.V. Stepanova, S.A. Lanshakov DESIGN-TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MANUFACTURE OF CAMS OF DIFFERENT PROFILES WITH THE USE OF CAD/CAM-SYSTEMS AT VARIOUS LEVELS 57
A.V. Zhdanov, A.N. Mitrofanov, A.V. Cherkasova RIGIDITY AND AXIAL LOAD ANALYSIS FOR ROLLER SCREW MECHANISMS 61
V.G. Zarubskiy RECOMMENDATIONS ON THE USE OF THE DEVELOPMENT OF METHODS OF ADAPTATION OF STRUCTURALLY STABLE CONTROL COMPUTERS CONTROL SYSTEMS AT DIFFERENT LEVELS OF ARCHITECTURE 65
G.E. Kokieva, I.V. Gogolev, D.M. Noev, V.P. Druzyanova AUTOMATION OF THE WORK OF THE WORKING BODIES OF THE COMBINED WEAPON FOR PRESEEP SEED TREATMENT 68
G.E. Kokieva, S.A. Jaglowskik, Ch.G. Mashiev, D.M. Noev, E.I. Kondakova AUTOMATION OF THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF FEED PRODUCT FOR FEEDING REINDEER 71
A.R. Minulina, T.G. Makarova MANAGEMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGIES BY NEW METHODS 74
A.A. Silaev, E.U. Silaeva, E.S. Danilina, N.S. Savina, V.S. Saparova DIGITAL DESIGN OF PROCESS CONTROL SYSTEMS FOR THE CHEMICAL INDUSTRY 77

L.A. Simonova, E.I. Egorova, A.I. Akhmadiev SURFACE PROCESSING ROUTES FORMULATION MODULE BASED ON FUZZY LOGIC 81
S.S. Fedorov, G.E. Kokieva ECONOMIC RELATIONSHIPS IN INTER-ECONOMIC ENTERPRISES AND ASSOCIATIONS 88

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

A.I. Kononova INVESTIGATION OF SINGULAR POINTS OF SINGLE TORRENT WITH P2P NETWORK 92

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

D.P. Sidorov, S.D. Shibaykin, A.A. Abbakumov APPLICATION OF METHODS OF MACHINE LEARNING FOR ANALYSIS OF TEXTS 96
V.I. Khrustalev TAKING INTO ACCOUNT THE VISUAL COMPLEXITY OF HUMAN-MACHINE INTERFACES IN A RESULT-ORIENTED APPROACH 103

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

A.N. Blaznov, A.S. Krotov, M.E. Zhurkovsky MODELING OF AN OPTIMUM REINFORCEMENT LAYOUT FOR HIGH-PRESSURE CYLINDER 106
T.N. Bobyleva ON THE CALCULATION OF EFFECTIVE CHARACTERISTICS OF INHOMOGE-NEOUS ELASTIC- CREEPING CYLINDER RODS 110
I.I. Vorotyntseva, N.O. Martsenyuk NUMERICAL MODELLING OF THE REVERSE ENERGY CONVERSION MOOD 113
A.V. Deniskin, E.A. Nemchinova, S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova CLASSIFICATION OF NORMATIVE REFERENCE INFORMATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK 116
N.V. Dmitriev SELECTION OF OPTIMUM STRATEGY IN MODELING OF TRANSPORT NETWORK SECTION 120
A.I. Egunova, A.A. Abbakumov, M.A. Voropaeva, D.P. Sidorov SEARCH SYSTEM FOR WORKING WITH THE BASIS OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES 124
E.N. Kaninina, V.V. Rodin MODELING MECHANICAL SPRINGS OF SPRING 130
L.V. Kirianova THE FIRST EIGENVALUE IN THE BEGLEY TORVIK MODEL 134
O.Yu. Kustov, I.V. Khramtsov ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF INCOMPLETE SIDE CELLS OF A LINER SAMPLE USING NUMERICAL SIMULATION 137
V.E. Levin, N.A. Laperdina, I.P. Olegin NUMERICAL APPROACH TO DETERMINING ELASTIC PROPERTIES OF ONE-DIRECTIONAL REINFORCED COMPOSITES 141
D.P. Sidorov, A.A. Abbakumov, A.I. Egunova, S.D. Shibaykin ALGORITHM OF HIERARCHICAL ACCESS CONTROL TO INFORMATION RESOURCES 146
I.N. Sidorov, M.S. Filippova, A.I. Enskaya ALGORITHM FOR DETERMINING TANGENTIAL STRESSES AND RIGIDITY FOR TORSION OF A PRISMATIC MULTI-LAYERED ROD 149
I.N. Sidorov, M.S. Filippova, A.I. Enskaya DETERMINATION OF PRISMATIC MULTILAYER ROD DEFORMATION PARAMETERS AT TRANSVERSE BENDING 156
I.P. Sitdikova, N.V. Abdulkina MODELING OF SYSTEM OF SUPPORT OF PLASTIC PRESSURE BASED ON NAVIER-STOKS EQUATIONS 163
S.A. Solovev, O.V. Soloveva, R.R. Khusainov, G.R. Badretdinova ESTIMATION OF THE PREFILTER MODEL EFFICIENCY BY NUMERICAL SIMULATION 167

S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova, A.I. Equnova, K.E. Ryskin USE OF A RECURRENT NEURAL NETWORK FOR CLASSIFICATION OF REGULATORY REFERENCE INFORMATION 171
A.B. Tsvetkov, L.D. Pavlova DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE powered supports SECTION 175

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

A.A. Shashkov, A.A. Minaev METHODS OF THE BEST PSEUDO-RANDOM SEQUENCES WEEKEND OF THE LINE RECURS RESVES SDWIG 178
A.A. Shashkov, V.A. Minaev METHOD OF SUPPRESSING THE COMMUNICATION SYSTEM WITH NOISE-LIKE SIGNALS DO NOT EXCEED THE POWER SUPPRESSED SIGNAL 183

ABSTRACTS 187

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

05.13.01

Г.Ф. Ахмедьянова канд. педагог. наук

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

АДАПТАЦИЯ CAD - СИСТЕМЫ К РЕШЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

В работе рассмотрен системный подход к адаптации CAD – систем, который требует исследования двунаправленных изменений, как со стороны требований инженеров к наличию необходимого арсенала автоматизирующих его труд функций, так и встречного движения, со стороны системы, в отношении адаптации ее к конкретному пользователю на основе повышения ее интеллектуальности. Для реализации этой возможности в модель интерфейса CAD – систем включаются подсистемы распознавания возможностей пользователя, статистического анализа частоты использования инструментов и подсистема рекомендаций.

Ключевые слова: *адаптация, CAD – система, интеллектуализация, системный подход, статистический анализ, кинематическое мышление.*

Введение

Системы автоматизации проектирования - CAD – системы являются действенными инструментами в руках инженеров-практиков. Но еще большие возможности эти системы предоставляют инженерам-изобретателям [1]. Системный подход к рассмотрению взаимодействия CAD –систем с инженером-проектировщиком требует исследования обоюдного влияния, как со стороны требований инженеров к наличию большого арсенала автоматизирующих его труд функций, так и встречного движения, со стороны системы, в отношении адаптации ее к конкретному пользователю и повышению ее интеллектуальности, что, в конечном счете, должно служить пробуждению креативности инженера, развитию его творческого потенциала. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

Теория

Конечно, есть различия по природе объектов, с которыми оперирует CAD – система: механические, электрические, химические и биохимические и т.д. Они различаются и по назначению, то есть для проектирования какого объекта их используют: самолетов, автомобилей, кораблей, ядерных установок и т.д.

Классическая CAD – система, кроме обеспечения возможности проведения инженерного анализа, обеспечивает инженера-проектировщика инструментами 3D – представления, анимации разрабатываемых механизмов и проверки кинематической схемы на предмет противоречивости [2]. Использование этих инструментов в свою очередь развивает у пользователя пространственное воображение, мышление и пространственное видение частей проектируемого изделия. Ведь пользователь может, повернув 3D - модель, посмотреть на нее с любой стороны и, в том числе, с неожиданной для него, с которой он ее не мог себе представить. Используя анимацию, пользователь развивает кинематическое воображение, усваивает кинематические взаимосвязи в проектируемом изделии, одновременно система проверяет возможность осуществления этих движений и подсказывает инженеру найденные противоречия.

Дополнительные возможности открываются, если в CAD –систему ввести механизм адаптации к пользователю [3]. За счет этого становится возможным предоставлять пользователю в первую очередь именно те инструменты, которыми он чаще всего пользуется или объяс-

нять преимущества более подходящих, но менее востребованных данным пользователем инструментов. Для обеспечения такой возможности CAD –система должна накапливать статистику по конкретному пользователю, уметь ее анализировать и предоставлять самые убедительные обоснования в пользу слабо понимаемых пользователем инструментов.

Интеллектуализация CAD – системы является в настоящее время перспективным направлением ее развития [4-6]. Интеллектуализацию можно рассмотреть в соответствии с функциями и составом CAD –системы. В первую очередь интеллектуальным должен быть интерфейс. Другой важной составляющей с интеллектуальными возможностями должна быть подсистема поддержки принятия решений, которая может включать так же подсистему объяснений и редактор базы знаний.

Знания, которые используются CAD – системой сформированы экспертами обычно в виде продукционных правил, фреймовых или семантических сетей, либо в виде логических выводов. Экспертами могут выступить профессионалы, долгое время использующие данную CAD – систему и знающие ее сильные и слабые стороны. Формирование базы знаний обеспечивается методами ранжирования, парного сравнения, либо прямыми оценками.

Конечно, широкое применение экспертных систем в САПР - дело будущего, но тенденция их интеллектуализации ведет к нарастанию вклада в проектирование баз знаний по сравнению с массивами обычных данных. Будет возрастать и количество функций, которые сможет эмулировать искусственный интеллект.

Модель

В качестве модели взаимодействия пользователя с CAD – системой выберем простую систему из трех компонентов: пользователь, интерфейс и собственно CAD – система.

Понятно, что центром взаимодействия является интерфейс. Он должен содержать, кроме классической подсистемы получения, трансформации и передачи запросов пользователя, подсистемы тестирования, статистического анализа и рекомендации.

В задачу первой подсистемы входит оценка уровня творческого потенциала пользователя. Для выполнения такой функции подсистема должна предлагать специальные тесты, выявляющие уровень пространственного воображения и кинематического мышления. Делается это для того, чтобы помогать пользователю в процессе творчества, дополнять проектируемую конструкцию (или технологию) оригинальными конструкторско-изобретательскими решениями в стиле мышления пользователя.

В задачу подсистемы статистического анализа входит выявление предпочтений пользователя и условий их применения. Для этого подсистема собирает статистику использования различных инструментов CAD – системы и выявляет статистически значимые результаты относительно частоты и условий их использования. Далее она готовит пользователю самые подходящие к сложившимся обстоятельствам инструменты.

Наконец, третья подсистема должна подсказывать пользователю, что в некоторых случаях имеются более удобные инструменты, нежели те, которые предпочитает пользователь. При его согласии подсистема показывает, как и какой достигается результат. Эта подсистема должна включать законы построения и развития технических систем; природу и сущность технических противоречий, а так же методы их устранения при создании новых и усовершенствовании существующих технических объектов; эвристические и алгоритмические методы поиска новых идей и оптимальных конструкторско-технологических решений [7].

Практические аспекты

Подробнее исследуем первую подсистему интерфейса. В качестве теста для решения предлагается рисунок с фронтальной и горизонтальной проекциями объекта, при этом невидимых линий нет. Такое задание предъявлялось студенческой группе в рамках дисциплины «Основы инженерного творчества». В этой задаче есть простое (прямоугольное решение), есть креативное решение с выходом мышления за пределы прямых линий и углов и, наконец, есть комбинированное решение. Первое решение характерно для аналитического мышления, второе для креативного.

Другие задания могут оценивать уровень кинематического представления. Например, предлагается изображение оригинального устройства для бурения скважин [8,9]. Задание: разобраться в кинематике устройства и выявить имеющееся противоречие. Устройство реализует особый способ бурения, при котором снимается реактивный крутящий момент со стороны породы. Для этого забой разделен на две зоны бурения, соответственно разбуриваемые в разных направлениях: по часовой и против часовой стрелки двумя рядами буровых коронок, способных изменять площади разбуривания за счет поворота. Уравнивание моментов осуществляет дифференциальный механизм, который с помощью соответствующих поводков поворачивает буровые коронки одновременно меняя внутреннюю и внешнюю разбуриваемые площади. В схеме имеется скрытый недостаток, который пользователь и должен обнаружить.

На основании экспериментальных данных по времени решения приведенных задач можно сделать вывод о возможности разделения пользователей на две подгруппы. Одну можно условно назвать с аналитическим мышлением, а другую с креативным мышлением. Теперь в зависимости от того, в какую группу попадет пользователь CAD – системы, она должна работать с ним по разным алгоритмам, добавляя креативности аналитическому пользователю и предлагая более конкретные решения креативному пользователю.

Тем самым развивается и делается разносторонним творческий потенциал пользователя CAD – системы [10].

Выводы

Таким образом, адаптация CAD - системы для решения технических изобретательских задач, осуществляемая на основе введения в интерфейс трех подсистем - распознавания возможностей пользователя, статистического анализа частоты использования инструментов и подсистемы рекомендаций, позволяет трансформировать и расширять ее функциональные возможности. С одной стороны, это позволяет развивать творческий потенциал ее пользователя. С другой стороны, адаптация способствует появлению качественно новых образцов техники.

Список литературы

1. Monitoring system for high-tech equipment /Kuznetsova V.B., Kondusov D.V., Serdyuk A.I., Sergeev A.I.// Russian Engineering Research. 2017. Т. 37. № 10. С. 892-896.

2. *Пищухин А.М., Шевченко М.Н.* Архитектура системы автоматизации проектирования шнековых экструдеров //Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2010. № 2 (27). С. 128-134.

3. *Пищухин, А.М.* Ступенчатое адаптивное управление с эталонной моделью./А.М. Пищухин, Г.Ф. Ахмедьянова//Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2017. -Т. 19. № 1-1. -С. 157-161.

4. *Ярушкина Н.Г.* Интеллектуализация автоматизированного проектирования сложных технических систем в условиях неопределенности//Автоматизация процессов управления № 1 (23) 2011.-13-19 с.

5. *Конюх В.Л.* Проектирование автоматизированных систем производства : Учеб. пособие / В.Л. Конюх. - М. : Абрис, 2012. - 310 с

6. *Башмаков, А.И.* Интеллектуальные информационные технологии: учеб. пособие / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.

7. *Михелькевич В.Н., Радомский В.М.* Основы научно-технического творчества. Серия «Высшее профессиональное образование»: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 320 с.

8. Способ бурения и устройство для его осуществления/А.М. Пищухин, С.И. Провоторов, Г.Ф. Ахмедьянова. - Положительное решение о выдаче патента РФ от 25.02.2015, заявка № 2013139725/03, опубл. 10.03.2015.

9. *Пищухин А.М., Пищухина Т.А.* Совершенствование технологии шланго-кабельного бурения//Бурение и нефть. -2015. -№ 11. -С. 46-47.

10. *Ахмедьянова Г.Ф.* Развитие творческого потенциала будущего инженера посредством проектного метода обучения //Современные наукоемкие технологии. 2018. № 6. С. 157-162.

05.13.01

И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, С.Н. Падалко д-р техн. наук,
М.Н. Терентьев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, snp_609@mai.ru, m-te@yandex.ru

АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье проведен анализ различных видов клиентских приложений для информационных систем управления жизненным циклом изделия и способов их взаимодействия с пользователем и источниками данных. Описаны типовые функции клиентских приложений и основные операции пользователей. Проанализированы различные варианты использования клиентских приложений при решении различных задач управления жизненным циклом изделия. Предложено развитие информационных систем управления жизненным циклом изделия с использованием облачных технологий.

Ключевые слова: *управление жизненным циклом изделия, клиентские приложения, взаимодействие приложений в системах управления жизненным циклом изделия, облачные информационные системы.*

Автоматизация жизненного цикла изделий (ЖЦИ) прошла путь от использования отдельных программ для ЭВМ для проведения расчетов до применения интегрированных информационных систем (ИС), охватывающих все этапы ЖЦИ, обладающих функционалом для проведения расчетов, моделирования, учета, планирования и хранения огромных объемов информации. В зависимости от потребностей используют различные компоновки пакетов программного обеспечения (ПО) для обеспечения рабочих процессов на разных этапах ЖЦИ.

Автономные приложения для ПК используются для создания тестовых документов, электронных таблиц, расчетов или моделирования.

Примерами автономных приложений являются: Microsoft Office, LibreOffice, AutoCAD, SolidEdge, SolidWorks, MSC NASTRAN, ANSYS, Maple, Mathcad. Из-за особенностей реализации для автономной работы сетевые функции в таких приложениях могут касаться только передачи исходных данных и результатов работы [1] или быть полностью переложены на пользователя, который получает выходной файл с результатом работы и может распоряжаться им по своему усмотрению.

Клиент-серверные приложения с автоматизированными рабочими местами (АРМ) для ПК применяются в ИС для разного рода учета, выполнения работ по вводу текстовых данных (заполнение форм, таблиц, баз данных), в том числе с использованием дополнительных устройств ввода, таких как сканеры штрих-кодов и QR-кодов, для отображения текстовых, графических и аудиовизуальных данных, проведения анализа данных средствами сервера с выдачей результата клиенту, а также для передачи данных с сервера в сторонние программы на клиентском ПК [2].

Примерами клиент-серверных интегрированных приложений АРМ являются: SAP ERP, Siemens Teamcenter, 1С: Предприятие.

Клиентская часть клиент-серверного приложения АРМ для ПК представляет собой сетевое приложение, требующее подключения к серверу. Имеет минимум автономных функций или не имеет их вовсе и является лишь тонким клиентом. В редких случаях – частично автономное приложение с периодической синхронизацией с сервером. Серверная часть приложения содержит все данные и функционал приложения.

Корпоративные порталы используются для просмотра текстовой, графической и аудиовизуальной информации, для информирования и помощи в принятии решений, в качестве персонального справочника с возможностью доступа в корпоративные базы данных и файловые архивы или как средство коммуникации для отправки коротких сообщений.

Основным достоинством такого подхода является возможность получать данные из различных источников и объединять их в едином веб-интерфейсе. Использование веб-интерфейса обеспечивает возможность подключения стационарных и мобильных клиентов с веб-браузерами к веб-серверу корпоративного портала.

Примерами ПО для организации корпоративных порталов являются Microsoft SharePoint, SAP NetWeaver Portal, Atlassian Confluence.

Корпоративный портал представляет собой веб-сайт, требующий постоянного подключения к серверу для обмена данными и реакции на события интерфейса. Позволяет работать практически с любого устройства с установленным веб-браузером. Серверная часть корпоративного портала является обработчиком алгоритмов интеграции с различными БД, данные из которых подаются пользователям корпоративного портала, а также является средством управления отображением и контроля доступа.

Не может быть использован для ресурсоемких задач без сервера и задач ввода данных с использованием дополнительных устройств ввода, таких как сканеры штрих-кодов и QR-кодов, так как работает через веб-браузер; требует постоянного подключения к серверу (неработоспособен без подключения); не учитывает особенности разнообразных мобильных устройств, часто рассчитан на разрешение экрана не менее 1024x768 и ввод данных с использованием клавиатуры и мыши, что не позволяет эффективно использовать порталы на мобильных устройствах; не обеспечивает возможности автономной работы или резервирования ввода данных пользователя при отключении сетевого подключения в момент отправки данных, что ведет к потере информации.

Не может заменить корпоративную электронную почту и средства АРМ для ввода больших объемов данных, т.к. велик риск потери текста сообщения при кратковременном сетевом сбое в момент отправки.

Существует потенциальная возможность наделения корпоративного портала различными функциями, не требующими привязки к оборудованию [3]. Что касается специализированного ПО, требующего привязки к оборудованию, такого как Ansys, SolidEdge, NX и др., то в настоящее время развиваются программные решения для обеспечения некоторых рабочих операций пользователей с этим ПО через веб-интерфейс. Например, совместный просмотр, обработка и анализ результатов моделирования в ANSYS Engineering Knowledge Manager (EKM) Enterprise и управление требованиями, проектами, процессами проектирования, составом изделия, соответствием, процессами технологической подготовки производства, расчетными данными с поддержкой средств совместной работы и встроенной визуализации в Teamcenter. Программные решения для управления ЖЦИ типа Teamcenter также предоставляют часть своих функций в виде веб-интерфейса.

Существующие веб-интерфейсы специализированных приложений и систем управления ЖЦИ [4] могут быть интегрированы в корпоративный портал предприятия, дополняя его.

Рассмотрим краткий список общих для большинства пользователей задач, стоящих перед ИС для организации корпоративных порталов вне зависимости от области деятельности предприятия, которое организует у себя корпоративный портал.

На основе различия потребностей можно условно выделить несколько групп пользователей: обычные пользователи, технические специалисты, менеджеры, руководство компании. В каждой группе пользователей выделяются основные, наиболее часто возникающие потребности.

Обычным пользователям требуется: быстрый поиск необходимой информации (документы, рабочие инструкции, регламенты, нормативы, СТП и др.); автоматизация повседневных операций (заявки в АХО, в отдел кадров, в техническую поддержку, резервирование переговорных и др.); обмен информацией друг с другом (сообщения, изображения, обсуждения и др.); получение уведомлений (информация об обновлениях на портале, событиях в компании, выполненных заявках, с описанием и, возможно, комментариями других пользователей).

Техническим специалистам требуется: средство для обработки поступающих заявок в техподдержку (реализация принципа единого окна, получение заявок, обработка с изменением статусов, уведомление заявителей, сбор и анализ статистики работы); адресная книга со списком ФИО, должностей, телефонов и расположением каждого сотрудника предприятия; справочник для проведения регламентных работ, технического обслуживания и текущих ремонтов приборов и оборудования предприятия с указанием, в каких помещениях что расположено, что требуется сделать сейчас и когда потребуются следующие действия, с рассылкой уведомлений для своевременного проведения запланированных работ; инструмент для анализа статистики обращений в службу технической поддержки с указанием количества открытых заявок, загруженности исполнителей, классификацией заявок по типам, а также статистики интернет-трафика, телефонных разговоров, расходных материалов; единый интерфейс для контроля состояния всех ИС организации; возможность получения информации с датчиков и камер видеонаблюдения.

Менеджерам предприятия требуется: проводить анкетирование и опросы сотрудников с целью выявлять мнения, потребности, ценности и мотивации сотрудников, проводить внутренние маркетинговые кампании и др. (требуется механизм для создания, рассылки определенным пользователям или группам, заполнения опросных листов и анкет и обработки полученных результатов); архив организационно-правовых документов (должностные инструкции, плановая документация, инструкции для отдела, распорядок, организационные схемы и диаграммы и др.); информировать сотрудников (общая информация для новых сотрудников, информация об изменениях, нововведениях, мероприятиях, новых услугах и продуктах компании, рассылка личных сообщений индивидуально и группам сотрудников); статистика численности персонала организации (количество работающих сотрудников, сотрудников в отпуске, уволенных сотрудников, имеющихся вакансий с группировкой по различным критериям: датам, профессиям, подразделениям и т. п.); фотография рабочего дня для уточнения нормирования (требуется механизм для заполнения и обработки таблиц операций по профессиям и должностям для создания фотографии рабочего дня, чтобы осуществлять нормирование функций сотрудников).

Руководству предприятий требуется: проводить анализ информации о деятельности организации (обработка и визуализация финансовых показателей, управленческих данных, коммерческой информации, информации об экстренных ситуациях на предприятии и др.); обратная связь с работниками предприятия (для оперативной связи с любым сотрудником напрямую).

При каждом внедрении корпоративного портала на конкретном предприятии экспертно определяется спектр главных потребностей и исходя из этого проводится внедрение. Экспертный этап также позволяет определить круг основных потребителей корпоративного портала внутри организации, чтобы привлекать их на этапах внедрения для достижения наилучшего конечного результата в виде соответствия полученного программного решения реальным потребностям предприятия.

Мобильные приложения используются в качестве справочников и для автоматизированного ввода данных. Взаимодействуют с сервером и источниками данных.

Примерами мобильных приложений справочной направленности являются: iOS SAP Business One, iOS/Android SAP BusinessObjects Mobile, iOS Teamcenter Mobility, iOS/Android 1С: Заказы, 1С:Монитор ERP, 1С:Документооборот. Примерами мобильных приложений с использованием автоматизированного ввода данных являются: iOS Track Packages, iOS Inventory Scanner с распознаванием штрих-кодов.

Как и интегрированное приложение АРМ для ПК нативное мобильное приложение для управления ЖЦИ представляет собой, обычно, сетевое приложение, требующее подключения к серверу, но может иметь ряд автономных функций. Подходит для просмотра текстовой, графической и аудиовизуальной информации, для целей информирования и помощи в принятии решений, а также для выполнения работ по вводу текстовых данных (заполнение форм, таблиц, баз данных) с использованием дополнительных устройств ввода, таких как сканеры штрих-кодов и QR-кодов, встроенных в мобильные устройства.

Анализ приложений, используемых в процессе управления ЖЦИ, показал, что многие из них построены на основе клиент-серверной архитектуры, используют схожие или общие форматы данных, служат для обмена информацией с различными удаленными потребителями.

В результате можно сделать вывод о возможности и целесообразности создания облачных отказоустойчивых ИС управления ЖЦИ, объединяющих данные участников ЖЦИ, позволяющих уменьшить расходы на разрозненную серверную инфраструктуру, уменьшающих дублирование данных у различных участников ЖЦИ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-08-01641 А.

Список литературы

1. *Давидович А.Н.* Обоснование необходимости использования гетерогенных САПР при проектировании сложных наукоемких изделий машиностроения // Rational Enterprise Management. – 2007. – № 4. – С. 50-52.

2. *Докучаев Д., Каменова М., Новожилов О.* Внедрение информационной системы как способ совершенствования бизнес-процессов предприятия // CAD master. – 2005. – № 1. – С. 8-17.

3. *Гинзбург И.Б., Падалко С.Н.* Автономные веб-приложения для систем обработки космической информации [Электронный ресурс] // Журнал «Труды МАИ». – 2015. – №82. – Режим доступа: http://trudymai.ru/published.php?ID=58832.

4. *Лахин О.И., Полников А.С., Симонова Е.В., Скобелев П.О.* Теория сложности и проблема управления жизненным циклом изделий аэрокосмической промышленности // Информационно-управляющие системы. – 2015. – №1 (74). – С. 4-12.

05.13.01

И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, С.Н. Падалко д-р техн. наук,
М.Н. Терентьев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, snp_609@mai.ru, m-te@yandex.ru

ОБЩИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ

В статье проведен анализ возможностей интеграции информационных систем управления жизненным циклом изделий. Описано взаимодействие таких систем и виды использования данных. Показано, что при взаимодействии таких систем данные различных этапов жизненного цикла часто передаются в различных неунифицированных форматах и требуют использования разных систем. Предложен общий подход к оценке трудоемкости интеграции используемых предприятиями-смежниками систем управления жизненным циклом изделий и продемонстрированы преимущества раннего начала интеграции.

Ключевые слова: *управление жизненным циклом изделия, взаимодействие систем управления жизненным циклом изделия, унификация систем управления жизненным циклом изделия, интеграция по данным.*

В информационных системах (ИС) управления жизненным циклом изделий (ЖЦИ) значительную часть операций пользователей на всех этапах ЖЦИ составляют операции просмотра и ввода текстовой и графической информации. На схеме, демонстрирующей использование видов данных на разных этапах ЖЦИ (рис. 1), показано, что на одних этапах существует потребность в обобщении и предоставлении данных других этапов ЖЦИ для просмотра, принятия решений, ввода дополнительных описаний и метаданных. На схеме цифрами отмечены виды данных, используемые или создаваемые в информационных системах всех смежников на каждом этапе ЖЦИ.

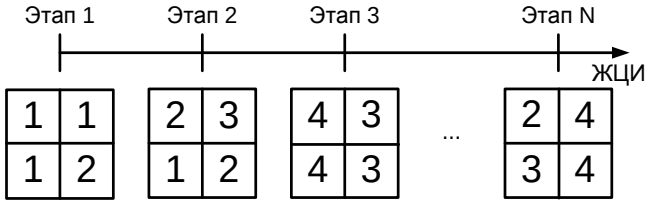


Рис. 1 – Сочетание видов данных в ИС на разных этапах ЖЦИ

Данные на всей протяженности цепочки этапов ЖЦИ часто передаются в различных форматах и существуют в разных ИС [1] из-за несоответствия между ИС смежников. Заранее избежать этого невозможно, так как развитие ИС может не учитывать будущих направлений деятельности, ИС будущих партнеров и новых информационных технологий [2].

На рис. 2 показаны используемые на предприятиях ИС, цифрами отмечены различные виды данных в ИС, стрелками отмечено направление интеграции ИС для обеспечения эффективности работы.

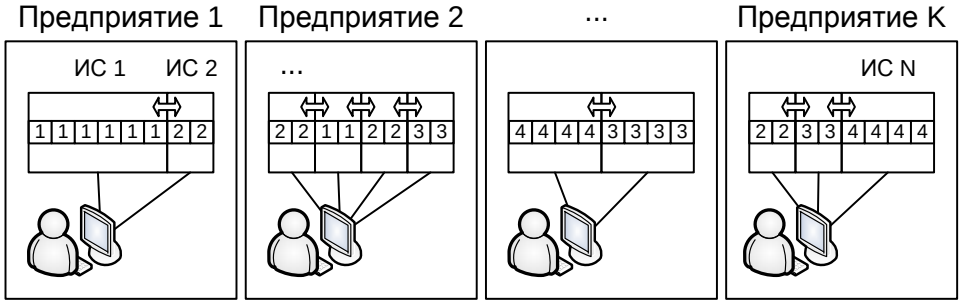


Рис. 2 – Интеграция разрозненных ИС внутри предприятий

При оценке возможностей интеграции существующих ИС между собой и с ИС партнеров и смежников, нужно иметь в виду, что чем позже начинается процесс унификации и интеграции ИС, тем сложнее его проводить. Поэтому необходимо строить ИС, в которых заложены возможности для интеграции с любыми новыми системами. Если в создаваемую ИС не заложен потенциал для будущих интеграций, то в конечном итоге это приведет к необходимости ее полной замены.

Общий подход к анализу возможностей интеграции ИС управления ЖЦИ базируется на оценке сложности интеграции. Рассмотрим матрицу (рис. 3) из M строк и N столбцов, где: N – количество разнородных ИС на всех этапах ЖЦИ; M – количество неунифицированных видов данных, используемых в этих ИС. В этой матрице 1 означает, что указанный вид данных используется (при пользовательском вводе/выводе, в вычислениях, в качестве метаданных и т. д.) в данной ИС и должен быть унифицирован, 0 – что этот вид данных в ИС не используется.

0	1	2		i		N
1	0	1		1		0
2	1	1		1		0
	...	...		...		0
j	1	0		1		1
	...	...		...		...
M	1	0		0		1

Количество информационных систем

Количество видов данных

Рис. 3 – Матрица используемых видов данных в различных ИС

После унификации данных можно будет отказаться от некоторых ИС, а остальные должны быть доработаны для использования унифицированных данных. Это уменьшит общее количество видов используемых ИС.

Раньше при возникновении необходимости в интеграции новой системы по данным с уже существующими требовалась доработка всех уже существующих и новой систем для поддержки новых видов данных.

Без возможности использования данных одного вида из одной ИС в других ИС общий объем работ по унификации может быть оценен в худшем случае как O((n-1)!*m), где m – количество видов данных, чье совместное использование требуется в разнородных ИС, n – количество разнородных ИС, требующих доработки для совместного использования каждого вида данных. (n-1)! – означает количество доработок ИС, так как каждая пара ИС проходит доработку для совместного использования одного нового вида данных.

Если в ИС данные используются в виде типовых представлений, то объем работ по унификации снижается до O(n*m), то есть разработчикам не требуется отдельно проверять возможность совместного использования новых видов данных в различных ИС.

При использовании единой ИС всеми смежниками на разных этапах ЖЦИ, объем работ по добавлению в систему новых видов данных сводится к O(1*m), то есть к доработке единой системы под количество новых видов данных.

Таким образом, видно, что чем скорее начнется унификация, тем менее затратной она будет. Необходимость в унификации будет только возрастать из-за роста стоимости обслуживания и развития разнородных программных средств. Пока систем не стало больше и в них не появилось еще больше данных (что происходит лавинообразно из-за распространения всеобщего и повсеместного онлайна, мобильных технологий, технологий Интернета вещей и Больших данных), необходимо разрабатывать унифицированные ИС управления ЖЦИ.

Развитие систем автоматизации (классов систем САПР, ERP и др.) и разработка единых форматов данных, начавшиеся уже сравнительно давно, позволили в какой-то мере улучшить ситуацию в области интеграции ИС партнеров, но из-за большого разнообразия ИС унифицированными можно считать лишь обмен текстами и изображениями по электронной почте и документооборот на основе форматов файлов Microsoft Office.

В остальных случаях используются разнородные приложения и базы данных, для соединения которых в единую ИС управления ЖЦИ приходится проводить долгую и дорогостоящую работу системных интеграторов. Результат системной интеграции не гарантирует, что за время разработки ПО и бизнес-процессов для интеграции перед ИС предприятия не появятся новые задачи, которые потребуют либо доработки, либо полной переделки интеграционной связки.

Среди других препятствий эффективному использованию уже зарекомендовавших себя программных пакетов выделяются два: первое – требование постоянного сокращения сроков вывода новой продукции на рынок для сохранения позиций в отрасли и рыночной капитализации предприятий, второе (по порядку, но не по значимости) – повышение интенсивности информационного взаимодействия в обществе, вызванного лавинообразным развитием мобильных технологий.

Если с первым можно как-то справляться выпуском новых версий ПО и внедрением новых, общих со смежниками, стандартов, то второй фактор требует радикального изменения информационных систем предприятия.

Необходимо, чтобы сотрудники предприятия имели всю необходимую информацию в любом месте, где это требуется. Современные виртуальные предприятия – те, в которых сотрудники могут работать из любого места, если их трудовая деятельность это позволяет – захватывают лидерство в своих областях, и современные ИС должны это учитывать. Необходимо обеспечивать доступность и защищенность данных предприятия в любой точке земного шара для сотрудников, партнеров и потребителей в зависимости от прав доступа [3].

Решить эту проблему только открытием доступа внешних клиентов к серверам предприятия нельзя, так как никто не станет ставить на свои ПК множество клиентских приложений для работы с разными партнерами, а при использовании мобильных устройств эффективное мобильное приложение со всеми необходимыми функциями не может быть создано одновременно для всех разнородных мобильных устройств. Решение лежит в области долгосрочного планирования программ унификации ПО (рис. 4) не только в рамках одного предприятия, но и в рамках системы «предприятие и его смежники». Данная унификация позволит объединить ИС отдельных организаций и создать единое виртуальное предприятие [4, 5].

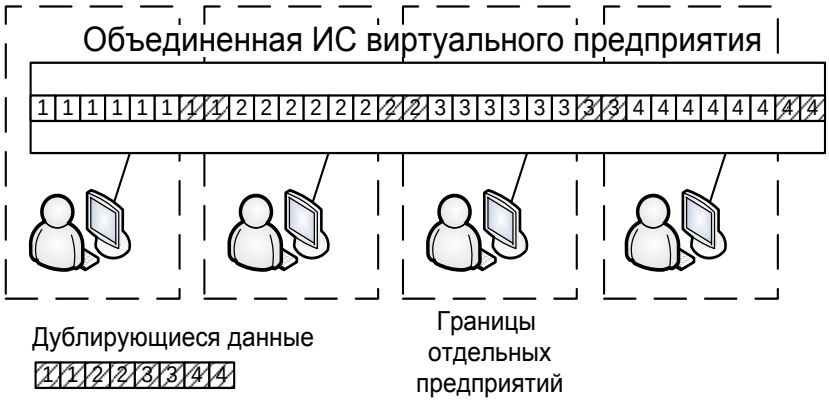


Рис. 4 – Объединение всех потребителей данных в единое виртуальное предприятие

На начальных этапах создания объединенной ИС виртуального предприятия и в первое время функционирования новой ИС будет сохраняться некоторый объем дублирующихся данных, хотя и значительно меньший, чем был при работе связки отдельных ИС предприятий участников ЖЦИ. Это связано с необходимостью доработки интеграции систем, видов данных и эффективной организации различных способов их использования. Это позволит с одной стороны, повысить доступность информации для потребителей на разных этапах ЖЦИ, а, с другой – сократить расходы при передаче данных между потребителями за счет значительного снижения потребности в дублирующихся данных, необходимых ранее в автономных ИС.

Экономия расходов заключается в: уменьшении объема БД за счет отсутствия дублирования; уменьшении трафика в каналах данных ИС управления ЖЦИ; высвобождении процессорного времени, так как не нужны разнородные дублирующиеся ИС; экономии всех видов энергии за счет отказа от ненужных операций; снижении потребности в оборудовании, так как при унификации высвобождаются аппаратные мощности (можно использовать частное или публичное облако); уменьшении трудозатрат персонала, так как исчезает необходимость поддерживать и обслуживать множество разнородных ИС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-08-01641 А.

Список литературы

1. *Колчин А.Ф.* Управление жизненным циклом продукции [Текст] / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М. : Анахарсис, 2002. – 303 с.
2. *Зильбербург Л.И.* Информационные технологии в проектировании и производстве [Текст] / Л.И. Зильбербург, В.И. Молочник, Е.И. Яблочков. – СПб : Политехника, 2008. – 303 с.
3. *Ковшов А.Н.* Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения. Принципы, системы и технологии CALS/ИПИ [Текст] / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров, И.М. Ибрагимов, А.Д. Никифоров. – М. : Академия, 2007. – 304 с.
4. *Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Концепция систем дистанционного мониторинга процессов производства и испытаний аэрокосмической техники на основе многошлюзовой беспроводной сенсорной сети с автономным веб-приложением // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №4. – С. 58–61.
5. *Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Система мониторинга крупномасштабных объектов на базе многошлюзовой БСС с автономными отказоустойчивыми веб-клиентами // Электросвязь. – 2017. – №9. – С. 60–66.

05.13.01

В.В. Ершов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, er.vittore@gmail.com

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛУЧЕВОЙ МИКРОФОННОЙ АНТЕННЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАСТРОЙКИ ЕЁ КОНФИГУРАЦИИ

В статье описана разработка оптимизированной конструкции микрофонной антенны для измерения источников шума и проведение сравнительных испытаний созданной антенны и антенны подобного класса от производителя Bruel & Kjaer (Дания). Спроектирована конструкция лучевой антенны, позволяющая изменять количество микрофонов и их положение по угловой и радиальной координате. Описано проведение испытаний по измерению шума стационарных источников и шума турбулентной струи и представлены результаты обработки полученных данных.

Ключевые слова: *лучевая микрофонная антенна, beamforming, локализация источников звука, оптимизация.*

Для разработки эффективных средств подавления шума необходимо иметь информацию о распределении акустических источников в пространстве. Для этих целей измерение шума осуществляется микрофонными антеннами, данные с которых обрабатываются определенными математическими алгоритмами, что в итоге дает информацию о расположении источников в пространстве и уровне звукового давления на представляющих интерес частотах [1]. В настоящее время мировые производители предлагают большой выбор микрофонных антенн для различных применений. Данное оборудование является дорогостоящим, а предлагаемые антенны не обладают возможностью внесения конструктивных изменений для настройки под различные условия эксперимента [2]. Для проведения измерений в широком спектре задач необходимо приобретать несколько антенн различной конфигурации, что экономически нецелесообразно. В связи с этим, проектирование конструкции лучевой микрофонной антенны с возможностью быстрой перенастройки её конфигурации является актуальной задачей.

На начальном этапе исследований необходимо провести оптимизацию микрофонной антенны и достичь характеристик, не уступающих по динамическому диапазону и качеству локализации изделиям мировых производителей [2, 3]. При проектировании антенны в качестве аналога была выбрана 9-лучевая 54-канальная микрофонная антенна Bruel & Kjaer (Дания), так как имелась возможность использовать ее в выполняемом исследовании, поэтому число лучей и микрофонов на лучах было выбрано идентичным, чтобы впоследствии можно было сопоставить качество локализации антеннами натурных источников шума. Для улучшения разрешающей способности максимальный диаметр рабочей области антенны был увеличен до 3 м (против 2.5 м антенны Bruel & Kjaer).

При расчетах задавалось 100000 случайных начальных микрофонных конфигураций, после чего в результате работы программного кода определялось максимальное значение динамического диапазона. В качестве верхней частоты оптимизации был установлен предел 1500 Гц, что было выбрано исходя из рассмотрения диаграммы направленности антенны Bruel & Kjaer, в которой на данной частоте явно прослеживается резкий ступенчатый рост целевой функции. Данный вывод косвенно подтверждается из анализа характерных особенностей метода оптимизации «Minimax», который, как правило, стремится нормализовать проектные параметры к единой гладкой линии без резких скачков. На основе этой особенности было сделано предположение, что частота 1500 Гц является границей оптимизируемой области.

По результатам решения оптимизационной задачи получена конфигурация с максимальным диаметром рабочей области 3 м, динамический диапазон которой в полосе частот до 8000 Гц составляет 8.1 дБ (для сравнения – у микрофонной антенны Bruel & Kjaer в соответствующей полосе частот динамический диапазон составляет 7.4 дБ при меньшем диаметре 2.5 м). Полученное оптимальное распределение микрофонов представлено на рис. 1 слева. Сравнение функций максимального уровня бокового лепестка оптимизированной антенны с микрофонной антенной Bruel & Kjaer показано на рис. 1 справа.

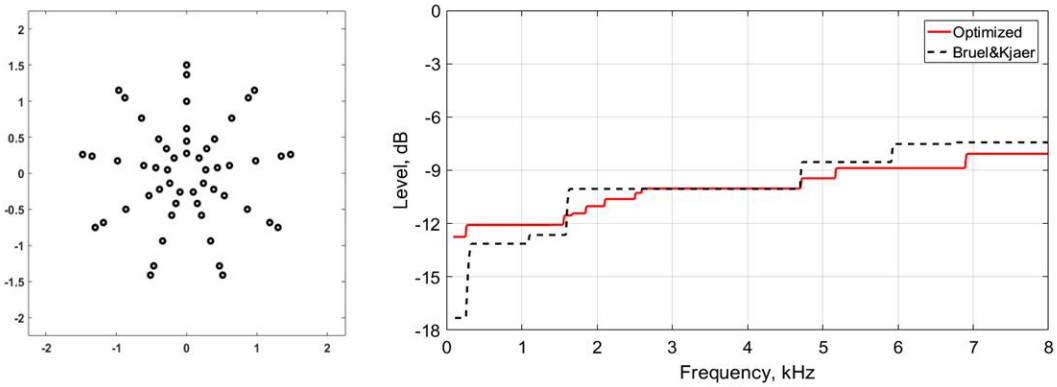


Рис. 1 – Полученное оптимальное распределение микрофонов (слева) и сравнение функций максимального уровня бокового лепестка (справа):
оптимизированная микрофонная антенна; - - - антенна Bruel & Kjaer

На следующем этапе исследований для обеих микрофонных антенн определялась эффективность локализации виртуальных звуковых источников. Использовались 3 некоррелированных точечных источника с частотой излучения 0.5, 1 и 2 кГц и уровнем звукового давления 100 дБ. Локализация выполнялась методом Cross-spectral Beamforming [2, 4]. В результате было предварительно установлено, что оптимизированная антенна обладает сопоставимым с антенной Bruel & Kjaer качеством локализации монопольных звуковых источников. За счет увеличенного диаметра рабочей области, пятна локализации имеют меньшую площадь.

В результате была разработана и изготовлена конструкция микрофонной антенны, которая имеет ряд преимуществ перед антеннами подобного класса: высокий динамический диапазон, возможность изменять число лучей, возможность точно регулировать лучи по углу. Конструкция микрофонной антенны представлена на рис. 2.

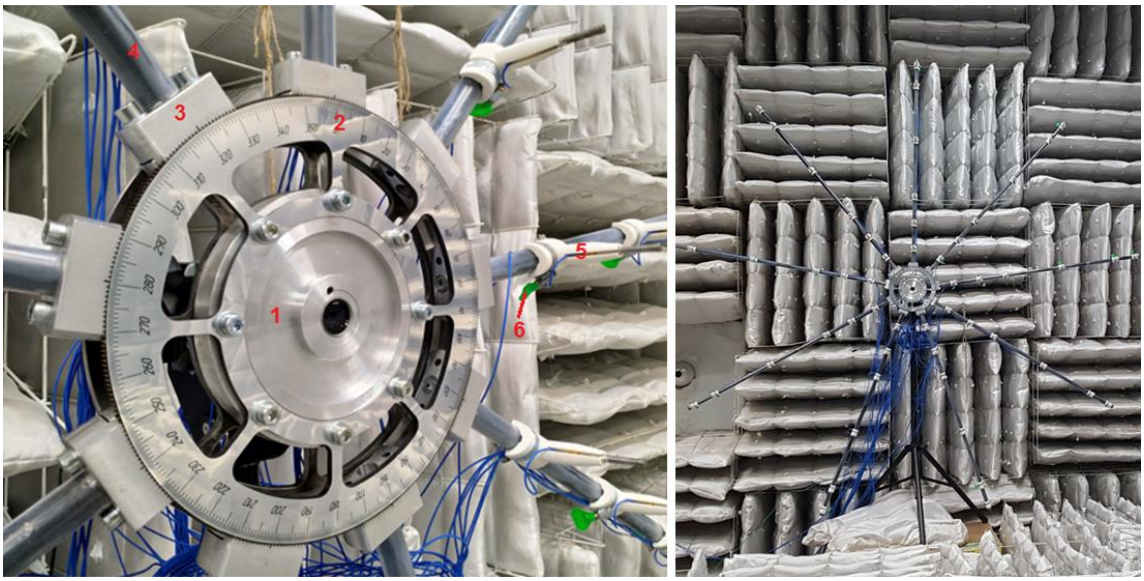


Рис. 2 – Собранная оптимизированная микрофонная антенна:
1 – центральное тело; 2 – диск с угловой разметкой; 3 – сухарь; 4 – луч;
5 – державка микрофона; 6 – хомут

Для проведения сравнительного анализа в заглушенной камере ПНИПУ [5] были проведены измерения стационарных источников шума с известной частотой излучения (биперов), выполненные микрофонной антенной Bruel & Kjaer и созданной оптимизированной антенной. Частоты излучения звука определены с высокой точностью, центр пятен локализации точно совпадает с положением источников. Оптимизированная антенна за счет сопоставимого с фирменной антенной динамического диапазона и повышенной разрешающей способностью показывает более качественные результаты: размеры пятен звуковых источников визуально меньше. Уровни звукового давления определяемых источников сопоставимы и различаются не более чем на 3 дБ.

Также были проведены измерения шума турбулентной воздушной струи [6], истекающей из конического сопла диаметром 40 мм. Обе антенны были установлены параллельно оси струи на расстоянии 4.3 м. Сопоставление полученных карт локализации представлено на рис. 3, 4.

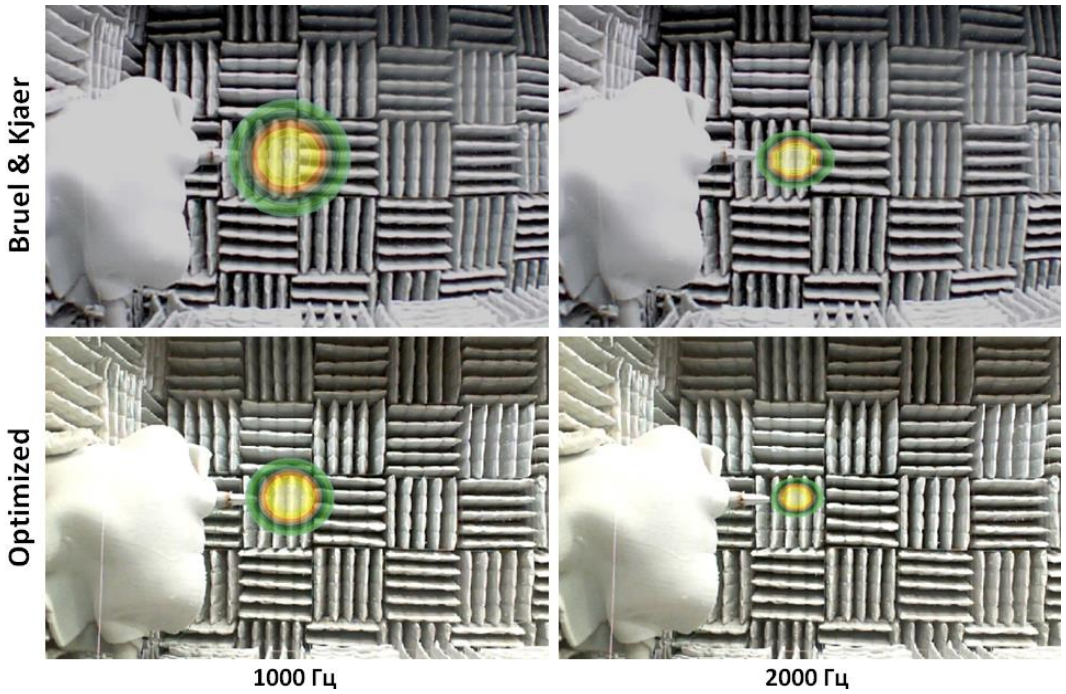


Рис. 3 – Локализация источников шума в турбулентной струе на скорости 0.55 М для частот 1 и 2 кГц с помощью микрофонной антенны Bruel & Kjaer (сверху) и созданной оптимизированной антенны (снизу)

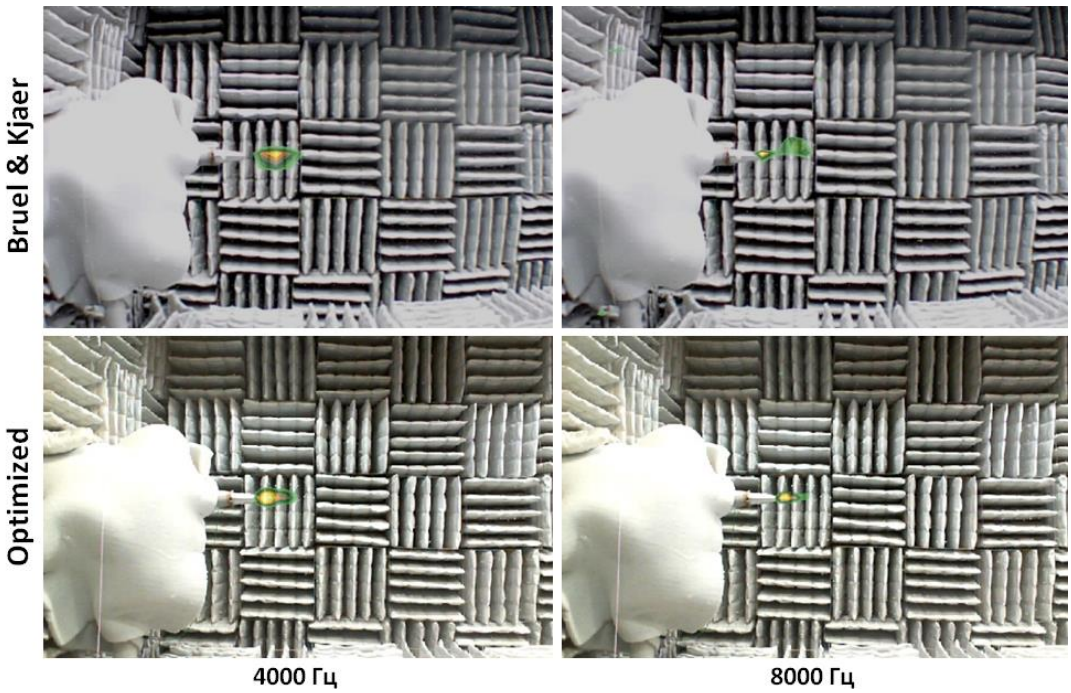


Рис. 4 – Локализация источников шума в турбулентной струе на скорости 0.55 М для частот 4 и 8 кГц с помощью микрофонной антенны Bruel & Kjaer (сверху) и созданной оптимизированной антенны (снизу)

Сопоставление результатов обработки измерений шума показало, что созданная оптимизированная антенна по сравнению с антенной Bruel & Kjaer позволяет лучше локализовывать источники шума во всем интересующем диапазоне частот, что выражается в более компактной области локализации звуковых источников на карте. На высоких частотах, в тех случаях, когда уровень паразитного шума сопоставим с уровнем излучения основного источника шума, оптимизированная антенна дает менее зашумленную карту локализации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90071.

Список литературы

1. *Johnson D., Dudgeon D.* Array signal processing: concepts and techniques. Prentice Hall, 1993, 537 p.
2. *Christensen J.J., Hald J. Beamforming.* Technical review // Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2004.
3. *Hald J., Christensen J.J.* A class of optimal broadband phased array geometries designed for easy construction // Proceedings of Inter-Noise, 2002, MI, USA.
4. *Chu Z., Yang Y.* Comparison of deconvolution methods for the visualization of acoustic sources based on cross-spectral imaging function beamforming // Mechanical Systems and Signal Processing, 2014, Vol. 48, p. 404-422.4
5. *Копьев В.Ф., Пальчиковский В.В., Беляев И.В., Берсенев Ю.В., Макашов С.Ю., Храмцов И.В., Корин И.А., Сорокин Е.В., Кустов О.Ю.* Создание заглушенной установки для аэроакустических экспериментов и исследование ее акустических характеристик // Акустический журнал, 2017, Т. 63, № 1, с. 114-126.
6. *Palchikovskiy V.V., Khramtsov I.V., Ershov V.V., Gornova D.A., Selivanova A.A.* Aeroacoustic investigations of subsonic jet in PNRPU anechoic chamber // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 208, p.1-6.

05.13.01

П.С. Кулясов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт радиоэлектроники и информационных технологий,
Кафедра «Вычислительные системы и технологии»,
Нижний Новгород, p.kulyasov@gmail.com

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ КОМПОНЕНТНОЙ СБОРКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В работе представлена семантическая модель адаптивных образовательных программ высшего образования (ОПВО), а также алгоритм сборки ОПВО, на основе ее компонентного представления и концептуальных каркасов онтологий. Приведен фрагмент онтологической модели, формализующий взаимодействие компонентов дисциплин, практик и аудиторий. Описанные правила логического вывода позволяют алгоритмизировать процесс синтеза многокомпонентных структур ОПВО.

Ключевые слова: *ОПВО, компонентная сборка, семантическая модель.*

В настоящее время в сфере высшего образования осуществляется переход на компетентностно-ориентированный, а также проектно-ориентированный формы обучения, что требует развития существующих подходов к проектированию ОПВО. Актуальной становится задача построения адаптивных ОПВО, которые позволили бы снизить затраты на разработку и реорганизацию ОПВО и, тем самым, гибко перестраивать учебный процесс ВУЗов согласно происходящим с течением времени изменениям внешней среды (меняющиеся требования потенциальных работодателей выпускников ВУЗа, новые тенденции в сфере науки и образования, выход новых образовательных стандартов и иных нормативных документов Минобрнауки).

Одна из основных идей компонентного подхода заключается в унифицированном блочном представлении [1,2] элементов и процессов ОПВО, а также требований и ограничений, диктуемых внешним окружением, как элементов информационных систем, обладающих стандартизированными интерфейсами [3].

Семантическое моделирование ОПВО

Согласно [3] можно выделить следующие уровни онтологического представления открытых информационных систем:

- уровень блочного представления и стандартизации (уровень 1);
- уровень интерфейсов и компонентного представления (уровень 2);
- уровень многокомпонентных структур (уровень 3);
- уровень многокомпонентных интероперабельных структур (уровень 4).

На уровне блочного представления и стандартизации осуществляется ввод первичной информации о блоках информационных систем, их точках доступа и связанных с ними свойствах. Кроме того, на этом уровне осуществляется формализованное представление спецификаций, их параметров и областей ограничений. На рис. 1 представлен каркас онтологии уровня 1. В качестве примера рассматривается фрагмент ОПВО, содержащий три блока: дисциплина, практика и аудитория.

Выделим наборы свойств каждого блока:

1. Блок дисциплина b_1: p_{11} – знания, умения и навыки (ЗУНы), необходимые для освоения дисциплины; p_{12} – формируемые ЗУНы; p_{13} – формируемые компетенции; p_{14} – необходимое программно-техническое оснащение; p_{15} – виды занятий; p_{16} – сведения, необходимые для составления документов, входящих в состав ОПВО.

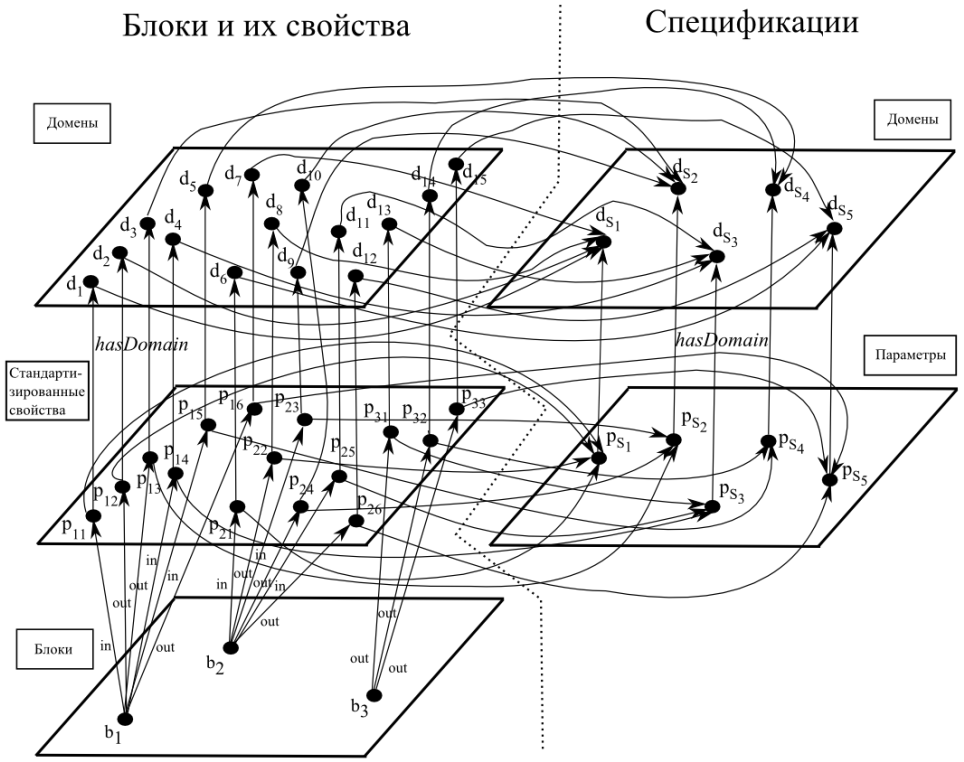


Рис. 1– Регистрация и стандартизация блоков и свойств

2. Блок практика b_2: p_{21} – ЗУНы, необходимые обучающимся для успешного прохождения практики; p_{22} – формируемые ЗУНы; p_{23} – компетенции, сформированность которых контролирует данная практика; p_{24} – формируемые компетенции; p_{25} – необходимое программно-техническое оснащение; p_{26} – сведения о практике, необходимые для составления документов, входящих в состав ОПВО.

3. Блок аудитория b_3: p_{31} – материально-техническое оснащение данной аудитории; p_{32} – виды занятий, для проведения которых может быть задействована данная аудитория; p_{33} – сведения об аудитории, необходимые для составления документов, входящих в состав ОПВО.

Каждое свойство имеет свою область определения – домен. Стандартизация свойств осуществляется посредством их функционального отображения на параметры спецификаций. С каждым свойством блока сопоставляется копия домена, определенного в спецификации и связанного с результирующим параметром той же спецификации. Необходимость стандартизации обусловлена тем, что значения свойств отдельных блоков могут быть сформулированы настолько по-разному, что в дальнейшем может оказаться затруднительным определение возможности сопряжения обладающих этими свойствами блоков. Например, такие свойства блока дисциплина, как ЗУНы, необходимые для освоения дисциплины (p_{11}), и формируемые ЗУНы (p_{12}), могут описываться отдельно для каждой из дисциплин, входящих в ОПВО, причем разными преподавателями, за которыми закреплена дисциплина, в результате чего их формулировки (значения данных свойств блока) могут очень сильно отличаться.

Выделим параметры спецификаций: p_{S_1} – ЗУНы; p_{S_2} – компетенции; p_{S_3} – материально-техническое оснащение; p_{S_4} – виды занятий; p_{S_5} – сведения.

На уровне 2 происходит формирование связи точек доступа блоков с доменами напрямую, минуя слой свойств. Отображение пары доменов на один элемент интерфейса происходит в случае, если они определяются общим доменом спецификации и через связанную с ним

точку доступа существует канал обмена данными между двумя и более блоками. Для блоков, обладающих интерфейсами, формируется объект компонент, кроме того, компоненты, способные обмениваться информацией через интерфейсы, дополнительно связываются посредством роли, которая определяет направление передаваемой информации. На рис. 2 представлен каркас онтологии уровня 2.

Таким образом, в рассматриваемом примере могут быть выделены следующие интерфейсы: $itrf_1$ – ЗУНы; $itrf_2$ – компетенции; $itrf_3$ – материально-техническое оснащение; $itrf_4$ – виды занятий; $itrf_5$ – сведения.

Для каждого блока, у которого хотя бы один домен был преобразован в интерфейс, формируется объект компонент *c*: c_1 – дисциплина; c_2 – практика; c_3 – аудитория.

В работе [2] описаны основные концепты, роли, аксиомы формирования интерфейсов и компонентов на основе стандартизированных блоков и их свойств. Опишем основные концепты, роли, аксиомы регистрации и стандартизации элементов ОПВО.

1. Аксиома осуществления стандартизации блоков и свойств

$$specificated(p_i^{b^{new}}, p_q^{spec}) \bigcap hasDomain(p_q^{spec}, d_k^{standard}) \rightarrow$$

$$hasDomain(p_i^{b^{new}}, d^{new}) \bigcap specificated(d^{new}, d_k^{standard}) \bigcap hasSTProp(b^{new}, p_i^{b^{new}})$$

2. Аксиомы сопряжения компонентов ОПВО

2.1. Дисциплина *i* является предшествующей дисциплине *j* (требуется для ее изучения)

$$in(c_{1i}, itrf) \bigcap out(c_{1j}, itrf) \rightarrow compatible(c_{1i}, c_{1j})$$

2.2. Дисциплина *i* является необходимой для прохождения практики *k*

$$in(c_{1i}, itrf) \bigcap out(c_{2k}, itrf) \rightarrow compatible(c_{1i}, c_{2k})$$

2.3. Аудитория *m* может использоваться для проведения занятий по дисциплине *i*

$$in(c_{3m}, itrf) \bigcap out(c_{1i}, itrf) \rightarrow compatible(c_{3m}, c_{1i})$$

2.4. Аудитория *m* может использоваться для проведения практики *k*

$$in(c_{3m}, itrf) \bigcap out(c_{2k}, itrf) \rightarrow compatible(c_{3m}, c_{2k})$$

2.5. Практика *k* является предшествующей практике *n*

$$in(c_{2k}, itrf) \bigcap out(c_{2n}, itrf) \rightarrow compatible(c_{2k}, c_{2n})$$

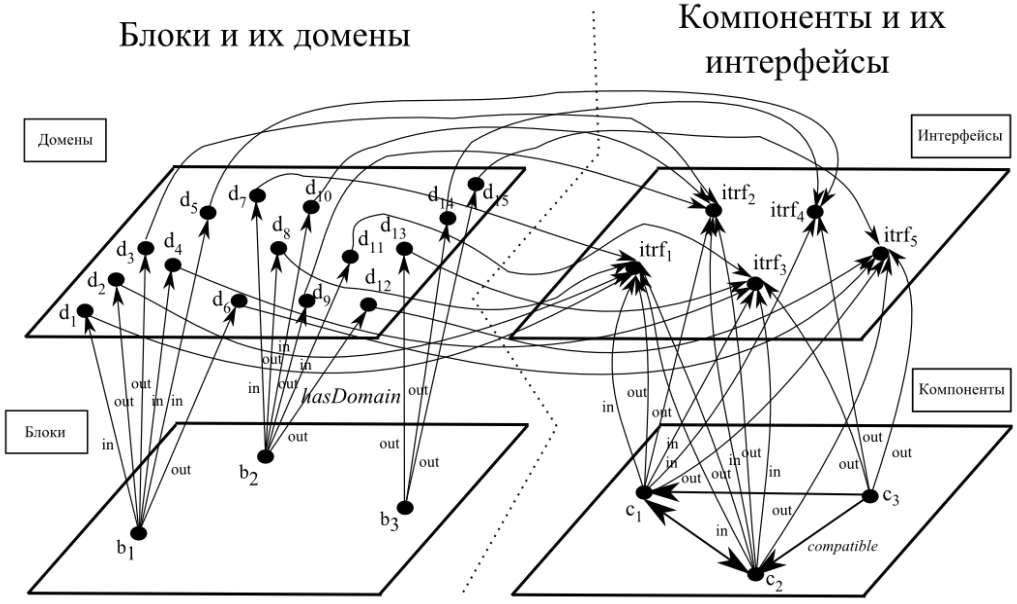


Рис. 2– Синтез интерфейсов и компонентов

Синтез многокомпонентных структур осуществляется посредством поиска подструктур построенной структуры *compatible*-связности компонентов. Синтез многокомпонентных структур иерархичен, на каждом следующем уровне происходит формирование *n+1* компонентов, где *n* – количество компонентов предыдущего уровня.

В случае ОПВО синтезируемая многокомпонентная структура будет представлять собой набор входящих в ОПВО элементов и процессов, представленных в виде компонентов, взаимодействующих посредством стандартизированных интерфейсов. В частности, данная структура будет отображать взаимодействия: а) между дисциплинами, практиками и ГИА, показывая какие дисциплины являются предшествующими и последующими для других дисциплин, б) какие дисциплины требуются для прохождения практик; в) между дисциплинами, практиками и аудиториями, показывая возможность использования аудиторий для проведения определенных дисциплин и практик; г) между дисциплинами и преподавателями, показывая какие из преподавателей могут осуществлять преподавание данной дисциплины и т.д. К получаемой структуре можно применять процедуру фильтрации, заключающуюся в сопряжении с фильтрующими компонентами (описывающими требования и ограничения внешней среды), перестраивая ее и, тем самым, обеспечивая адаптивность ОПВО.

Заключение

В работе показано, что ОПВО может рассматриваться как открытая информационная система, представленная многокомпонентными структурами, элементы которых взаимодействуют посредством стандартизированных интерфейсов. Построенные онтологические каркасы ОПВО, включающие правила логического вывода, определяют базовые конструкции обобщенного алгоритма компонентной сборки ОПВО различного назначения.

Представленный фрагмент ОПВО, связывающий компоненты дисциплин, практик и аудиторий, подтверждает достоверность и применимость построенных моделей и правил логического вывода для проектирования алгоритмов компонентной сборки частных образовательных программ высшего образования.

Список литературы

1. *Гуляев, Ю.В.* Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор [Текст] // Ю.В. Гуляев, Е.Е. Журавлёв, А.Я. Олейников / Журнал электроники. – №3. – 2012. – №2. – 40с. – Режим доступа: http://jre.cplire.ru/iso/mar12/2/text.pdf (проверено 09.06.2012 г.).

2. *Жевнерчук, Д.В.* Принципы блочно-иерархической организации открытых информационных систем. Методика // Д.В. Жевнерчук / Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2017 г. – С. 10. – Режим доступа. – печатный вариант находится на кафедре «Вычислительные системы и технологии» Института радиоэлектроники и информационных технологий.

3. *Жевнерчук Д.В.* Обобщенный метод синтеза многокомпонентных интероперабельных структур на основе онтологии и недетерминированного конечного автомата [Текст] // Д.В. Жевнерчук / Информационные технологии. – №2. – том. 25. – УДК 004.023 . – DOI: 10.17587/it.25.67-74. – 2019. – С. 67-74

05.13.01

А.О. Махорин канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра прикладной информатики,
mao@gnu.org

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ КОНФИГУРИРОВАНИЯ СЕТИ

Задача определения оптимальной конфигурации (многопродуктовой) сети возникает во многих практических приложениях, в частности, при проектировании многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей [1, 2]. В данной статье рассматривается формализация этой задачи в терминах целочисленного линейного программирования. Показано, каким образом можно получить улучшенную эквивалентную формулировку, которая позволяет обеспечить более эффективное решение этой задачи с помощью алгоритмов неявного перебора.

Ключевые слова: *задача конфигурирования сети, целочисленное линейное программирование, эквивалентное преобразование задачи, алгоритм неявного перебора.*

Задача конфигурации (многопродуктовой) сети может быть поставлена следующим образом. Дана ориентированная сеть $G = (N, A)$, где N – множество узлов, A – множество дуг. Необходимо обеспечить коммуникацию между различными парами "источник-сток" для заданного множества продуктов K. Введем обозначение d^k для положительной величины коммуникации (потока продукта k) между источником $S(k)$ и стоком $T(k)$, где $k \in K$. Считается, что прохождение продукта вдоль дуги $(i, j) \in A$ потребляет некоторое (целочисленное) количество ресурса этой дуги, при этом каждая дуга сети может быть обеспечена произвольным числом единиц ресурса. Выделение одной единицы ресурса для какой-либо дуги $(i, j) \in A$ обеспечивает увеличение пропускной способности этой дуги на величину f_{ij}. При этом (неотрицательная) стоимость прохождения одной единицы продукта $k \in K$ по дуге $(i, j) \in A$ равна c_{ij}^k.

Пусть x_{ij}^k – (неотрицательная) величина части потока продукта $k \in K$ вдоль дуги $(i, j) \in A$, где $d^k x_{ij}^k$ – общая величина потока продукта k вдоль указанной дуги. Пусть также y_{ij} есть искомое (целочисленное) количество единиц ресурса, выделяемых для дуги $(i, j) \in A$. Тогда рассматриваемую задачу можно сформулировать следующим образом:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} d^k c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A} f_{ij} y_{ij},$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{ji}^k = \begin{cases} +1, & \text{если } i = S(k) \\ -1, & \text{если } i = T(k) \\ 0, & \text{если } i \neq S(k), T(k) \end{cases} \qquad \forall i \in N, k \in K,$$

$$\sum_{k \in K} d^k x_{ij}^k \leq u_{ij} y_{ij}, \qquad \forall (i, j) \in A,$$

$$0 \le x_{ij}^k \le 1, \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K,$$

$$y_{ij} \ge 0, \qquad \forall (i,j) \in A,$$

$$y_{ij} \text{ является целочисленным } \forall (i,j) \in A.$$

Поскольку $f_{ij} \ge 0$, то $y_{ij} \le \left| \sum d^k / u_{ij} \right| = T_{ij}$ для каждой дуги $(i,j) \in A$. Таким образом, рассматриваемую задачу можно переформулировать с использованием $2\sum T_{ij}$ вспомогательных переменных и вспомогательных множеств $S_{ij} = \{1, ..., T_{ij}\}$:

$$y_{ij}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } y_{ij} = s, \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \qquad \forall s \in S_{ij},$$

$$x_{ij}^s = \begin{cases} \sum d_k x_{ij}^k, & \text{если } y_{ij} = s, \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \qquad \forall s \in S_{ij}.$$

Исправленная формулировка будет иметь тот же вид, что и выше, но будет включать следующие дополнительные ограничения:

$$y_{ij} = \sum_{s \in S_{ij}} s y_{ij}^s, \qquad \forall (i,j) \in A,$$

$$\sum_{k \in K} d^k x_{ij}^k = \sum_{s \in S_{ij}} x_{ij}^s, \qquad \forall (i,j) \in A,$$

$$(s-1) u_{ij} y_{ij}^s \le x_{ij}^s \le s u_{ij} y_{ij}^s, \qquad \forall (i,j) \in A, s \in S_{ij},$$

$$\sum_{s \in S_{ij}} y_{ij}^s \le 1, \qquad \forall (i,j) \in A,$$

$$y_{ij}^s \ge 0, \qquad \forall (i,j) \in A, s \in S_{ij},$$

$$y_{ij}^s \text{ является целочисленной } \forall (i,j) \in A, s \in S_{ij}.$$

Заметим, что вследствие введения указанных дополнительных ограничений в исправленную формулировку задачи, третье, пятое и шестое ограничения исходной формулировки становятся избыточными и поэтому могут быть исключены. Более того, исправленная формулировка позволяет исключить переменные y_{ij}, так что результирующая формулировка будет включать только переменные x_{ij}^k и y_{ij}^k. Такая формулировка известна в литературе как задача о многопродуктовом потоке с кусочно-линейной функцией стоимости [3], отдельные сегменты которой в данном случае моделируют число единиц ресурса, выделяемых для каждой дуги сети.

Для повышения эффективности практического решения рассматриваемой задачи, которая относится к классу задач целочисленного линейного программирования (ЦЛП), предлагается расширить формулировку задачи включением в нее дополнительных правильных (valid) неравенств, получаемых в результате применения стандартной техники расщепления переменных [4].

Указанная техника основана на включении в задачу следующих вспомогательных переменных:

$$x_{ij}^{ks} = \begin{cases} x_{ij}^{k}, & \text{если } y_{ij} = s, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \qquad \forall s \in S_{ij}.$$

Эти переменные можно определить следующих образом в терминах линейных равенств:

$$x_{ij}^{k} = \sum_{s \in S_{ij}} x_{ij}^{ks}, \qquad \forall (i, j) \in A, k \in K,$$

$$x_{ij}^{s} = \sum_{k \in K} d^{k} x_{ij}^{ks}, \qquad \forall (i, j) \in A, s \in S_{ij}.$$

Важно отметить, что в данном случае расширенные связывающие неравенства:

$$x_{ij}^{ks} \le y_{ij}^{s}, \qquad \forall (i, j) \in A, k \in K, s \in S_{ij}$$

становятся избыточными для целочисленной формулировки, однако эти неравенства не являются избыточными для ЛП-релаксации, что позволяет существенно уменьшить ее множество допустимых решений и тем самым значительно улучшить нижние границы, необходимые для решения исходной задачи алгоритмами неявного перебора.

В заключение укажем три возможных подхода для получения нижних границ рассматриваемой задачи.

1. Применение декомпозиции Данцига-Вольфа (генерация столбцов). Особенностью этого подхода является экспоненциальный рост числа переменных, хотя число ограничений остается относительно небольшим.

2. Применение алгоритма отсекающих плоскостей. В данном случае требуется решать задачу сепарации для неравенств, ограничивающих пропускные способности дуг сети. Здесь мы имеем экспоненциальный рост числа ограничений при относительно небольшом числе переменных.

3. Применение комбинированного подхода, основанного на результатах данной статьи. Этот подход позволяет поддерживать относительно небольшое число как переменных, так и ограничений.

Список литературы

1. *Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Постановка задачи оптимизации размещения узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе.- Научно-технический вестник Поволжья.– Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – № 6, с. 233-236.

2. *Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н*. Математическая модель многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе.– Вестник компьютерных и информационных технологий.– Москва: Издательский дом "Спектр", 2015. – № 3, с. 28-32.

3. *Филлипс Д., Гарсиа-Диас А.* Методы анализа сетей.–М.: Мир, 1984.

4. *Croxton K.L., Magnanti T.L.* A Comparison of Mixed-Integer Programming Models for Non-Convex Piecewise Linear Cost Minimization Problems, Management Science 49, 2003, pp. 1268-1273.

05.13.01

К.М. Носков

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт Радиоэлектроники и Информационных Технологий,
Кафедра «Вычислительные системы и технологии»,
Нижний Новгород, ksendr.nnov@gmail.com

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В работе представлены результаты исследования возможности применения нейросетевых технологий для решения неформализуемых задач. Целью работы является разработка алгоритма построения классификатора многомерных объектов в условиях сложной помеховой обстановке. Рассмотрен частный случай многомерного объекта. Выполнена программная реализация.

Ключевые слова: *Классификация, неформализуемая задача, нейронная сеть, многомерный объект, радиально-базисные функции*.

С каждым годом количество неформализуемых задач неуклонно растет вместе с развитием науки и техники. Такие задачи характеризуются невозможностью их представления в форме математической модели, имеющей конкретный алгоритм решения за счёт неопределенности, нечеткости и неполноты данных об объекте исследований. Решение неформализуемых задач заключается в обнаружении скрытых закономерностей в наборах данных. Актуальным направлением в данной области являются искусственные нейронные сети. Они позволяют обойти ограничения экспертных систем, построенных на основе формализованных эмпирических знаний специалистов, и выявить закономерности в процессе обучения.

Задача и методы классификации

Классификация — это подход к систематизации знаний, направленный на организацию набора изучаемых объектов, в систему соподчинённых классов, по которым эти объекты распределены на основании их сходства в определённых сущностных свойствах [1]. Цель процесса классификации состоит в построении математической модели, которая принимает на вход прогнозирующие атрибуты (признаки), а в качестве результата на выходе класс, которому соответствуют такие атрибуты.

Существует множество разнообразных методов классификации. В отдельный класс можно вынести искусственные нейронные сети. Они имеют ряд преимуществ перед классическими методами классификации, что делает их мощным инструментом при решении неформализуемых задач, несмотря на некоторые ограничения при их использовании.

Базовая модель

Базовая модель представляет из себя набор входных и выходных векторов данных.

Вектор входных данных $\vec{X} = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ - соответствует представлению объекта в n-мерном евклидовом пространстве, координатами которого являются скалярные величины. Классификационные признаки имеют произвольную размерность. следовательно, необходима предварительная обработка исходных данных.

Переход от традиционных единиц измерения к нормализованным с использованием метода нелинейной нормализации осуществляется с использованием следующих расчетных соотношений:

при нормализации в пределах [0, 1]: $\overline{x_{ik}} = \frac{1}{e^{-\alpha(x_{ik}-x_{ci})}+1}$

где $x_{ci} = \frac{x_{mini}+x_{maxi}}{2}$ – центр нормализуемого интервала измерения входных переменных;

α – параметр, влияющий на степень нелинейности изменения переменной в нормализуемом интервале.

Одним из способов представления выходных значений является вектор $\vec{Y} = (y_1, y_2, \ldots, y_k)$, компоненты которого соответствуют классам. Результатом классификации является класс под номером максимального компонента выходного вектора.

В качестве типового многомерного объекта использовались Априорные статистические данные по исследованию количественно-качественного состава микрофлоры желудочно-кишечного тракта предоставлены ФБУН ННИИЭМ им. академика И.Н. Блохиной. Каждая запись представлена совокупностью 29 признаков, характеризующих состояние микрофлоры желудочно-кишечного тракта по микроорганизмам 376 видов из 70 родов [2].

Структура сети

В качестве классификатора использована нейронная сеть на радиально-базисных функциях. В отличии от многослойных сетей, они обладают свойствами, позволяющими производить более простое отображение характеристик [3]. Радиальные функции имеют значения отличные от 0 только в некоторой ограниченной области вокруг центра радиального элемента в виде сферы в многомерном признаковом пространстве. Наиболее широко применяющиеся на практике Гауссовские функции, имеют локальный характер и позволяют установить зависимость между областью данных в многомерном признаковом пространстве и конкретным радиальным элементом.

$\vec{\mathrm{h}}(x) = \exp\left(-\frac{1}{2\mathrm{r}^2} \cdot \|x - \vec{c}\|^2\right)$ – функция Гаусса

Где $\vec{\mathrm{c}}$ - вектор центров множества радиально симметричных функций;

$\|\mathrm{x} - \vec{\mathrm{c}}\|$ - норма вектора отклонений входной переменной от центров радиально-симметричных функций.

Таким образом радиальные элементы реализуют методы, связанные с локальными отображениями данных. Это является главной особенностью сетей на радиально-базисных функциях и позволяет существенно упростить структуру сети и соответственно ускорить её обучение [4].

Алгоритм обучения нейронной сети

Обучение сети состоит из 3-х этапов с возможностью использовать различные подходы.

1. Подбор центров радиально-симметричных функций. При большом объеме обучающих примеров можно воспользоваться несколькими способами подбора центров радиальных элементов:
   - Отдельные случайные входные вектора из обучающей выборки.
   - Максимально далеко расположенные вектора из обучающей выборки.
   - Использование различных алгоритмов кластеризации в том числе других нейронные сети.
2. Подбор радиусов радиальных элементов. Радиусы рассчитываться по среднему расстоянию до нескольких ближайших примеров
3. Оптимизация весовых коэффициентов.

Использование псевдообратной матрицы является наиболее простым и быстрым алгоритмом оптимизации весовых коэффициентов. Рассчитывается характеристическая матрица $\overline{\overline{\mathrm{H}}}$ значений радиально-симметричных элементов всех обучающих примеров:

$$\overline{\overline{\mathrm{H}}} = \begin{bmatrix} \mathrm{h}_{1(\mathrm{x}_1)} & \mathrm{h}_{2(\mathrm{x}_1)} & \ldots & \mathrm{h}_{\mathrm{m}}(\mathrm{x}_1) \\ \mathrm{h}_1(\mathrm{x}_2) & \mathrm{h}_2(\mathrm{x}_2) & \ldots & \mathrm{h}_{\mathrm{m}}(\mathrm{x}_2) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \mathrm{h}_1(\mathrm{x}_n) & \mathrm{h}_2(\mathrm{x}_{\mathrm{n}}) & \ldots & \mathrm{h}_{\mathrm{m}}(\mathrm{x}_{\mathrm{n}}) \end{bmatrix}$$

Где n – количество обучающих примеров; m – количество радиальных элементов

Методами линейной алгебры рассчитывается матрица весовых коэффициентов выходного слоя нейронов $\overline{\overline{\mathrm{W}}} = \left(\overline{\overline{\mathrm{H}}}^{\mathrm{T}} \cdot \overline{\overline{\mathrm{H}}}\right)^{-1} \cdot \overline{\overline{\mathrm{H}}}^{\mathrm{T}} \cdot \overline{\overline{\mathrm{Y}}}$, где $\overline{\overline{\mathrm{Y}}}$- матрица выходов обучающих примеров

Результаты

Выполнена программная реализация классификатора многомерных объектов, построенного на основе нейронной сети. В качестве обучающих и тестовых примеров использованы данные по бактериологическому исследованию микрофлоры кишечника, предоставленные Нижегородским научно-исследовательским институтом эпидемиологии и микробиологии им. Академика И. Н. Блохиной.

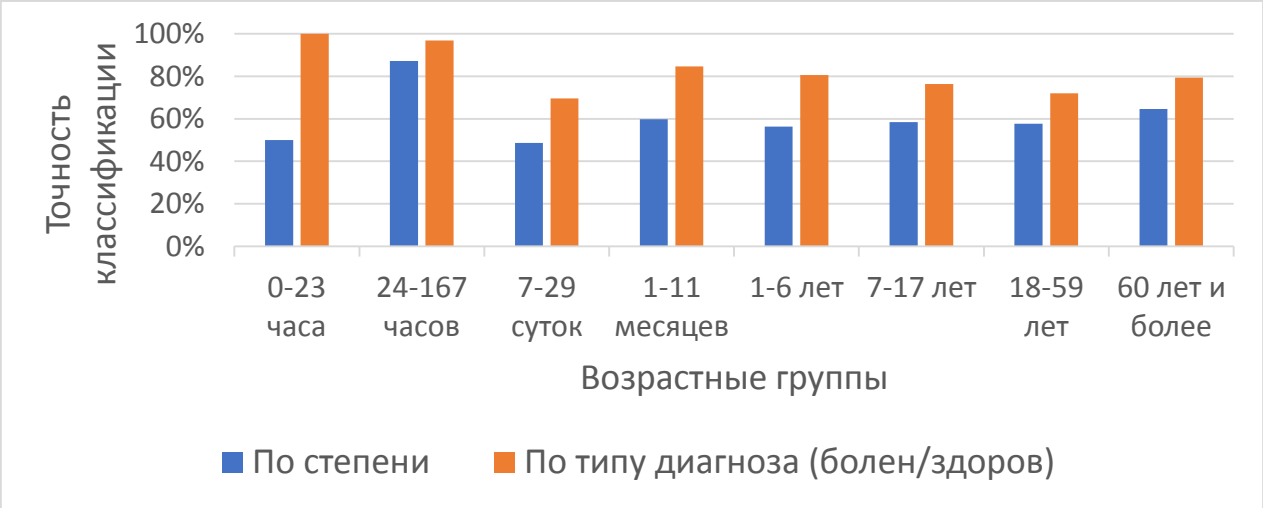


Рис. 1- Точность классификации по возрастным группам

Точность построенного классификатора (рис. 1) различается в зависимости от возрастных групп пациентов, а также от количества обучающих примеров. Общая точность классификации по всем возрастным группам: 62.55% при классификации по степени дисбактериоза (4-х компонентный выходной вектор) и 83.69% при классификации по типу диагноза (2-х компонентный выходной вектор)

Список литературы

1. *Хливенко Л.В*. Практика нейросетевого моделирования: монография / Л.В. Хливенко. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015. -214с. ISBN 978-5-7731-0429-2

2. *Ломакина Л.С., Носков К.М.* Нейросетевые технологии диагностирования состояний биоценоза на основе априорных статистических данных. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева №1 2018г

3. *Горбачевская Е.Н.* Классификация нейронных сетей. УДК 004.7 ББК 32.973.2 Журнал «Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева» 2012г

4. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.

05.13.01

О.П. Пусная, Н.П. Путивцева канд. техн. наук, Т.В. Зайцева канд. техн. наук, В.В. Ломакин канд. техн. наук

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

В статье рассмотрены основные направления развития архитектуры и технико-технологических характеристик платформ и разрабатываемых бизнес-систем. На основе проведенного анализа перспектив развития программного обеспечения сформулированы рекомендации по развитию интегрированного комплекса средств высокоуровневой разработки и среды функционирования информационных систем корпоративного уровня для обеспечения его конкурентоспособности.

Ключевые слова: *архитектура, платформа, информационная система, поддержка, программное обеспечение, вероятностный подход.*

Основными трендами в части проектирования архитектуры современных государственных и корпоративных информационных систем и платформ их разработки являются:

1. *Поддержка микро-сервисной архитектуры*

Переход от использования монолитной на микро-сервисную архитектуру позволяет гибко настраивать функционал системы, используя готовые модули для эффективного решения каждой отдельной задачи, при этом достигая максимальной скорости работы прикладных приложений, как на стационарных, так и на мобильных устройствах.

Таким образом, качество централизованных решений, основанных на микро-сервисной архитектуре, может быть значительно выше локальных за счёт разработки и внедрения комплексных интеллектуальных методов анализа больших массивов данных, основанных на математических аппаратах искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, логического вывода, позволяющих обрабатывать большие массивы данных на едином облачном ЦОД.

2. *Поддержка архитектуры, управляемой событиями*

Архитектура, управляемая событиями (англ. event-driven architecture, EDA) является шаблоном архитектуры программного обеспечения, позволяющим создание, определение, потребление и реакцию на события.

Этот архитектурный шаблон может применяться при разработке и реализации приложений и систем, передающих события среди слабосвязанных программных компонентов и служб. Система, управляемая событиями, обычно содержит источники событий (или агентов) и потребителей событий (или стоков). Стоки ответственны за ответную реакцию, как только событие возникло. Реакция может полностью или не полностью создаваться стоком. Создание приложений и систем в рамках архитектуры, управляемой событиями, позволяет им быть сконструированными способом, способствующим лучшей интерактивности, поскольку системы, управляемые событиями, по структуре более ориентированы на непредсказуемые и асинхронные окружения.

Архитектура, управляемая событиями соответствует сервисно-ориентированной архитектуре (SOA), поскольку сервисы могут активироваться триггерами, срабатывающими от входящих событий.

Все большую популярность архитектура, управляемая событиями завоевывает среди BI-систем. Во многих платформах уже реализованы возможности для непрерывного мониторинга и запуска предопределенных бизнес-процессов при выявлении критических состояний или обнаружении заданных событий. Кроме того, совершенствуются инструменты для администрирования на основе анализа активности пользователей. Такие возможности оказываются особенно востребованными при значительном увеличении числа пользователей. И если ранее эти инструменты разрабатывались отдельными нишевыми игроками, то сейчас они встраиваются непосредственно в BI-платформы.

Примером использования тренда на событийно-управляемую архитектуру при разработке КИС на базе платформ служит появление специальных API и слоя данных для UI. Так, например, в платформе «CUBA» реализованы новые легковесные контроллеры экранов с аннотированными методами для обработки событий, призванные сделать код чище и удобнее для тестирования. При этом типизированный API для открытия экранов избавляет от необходимости приведения типов.

3. Поддержка возможности расширения функциональности за счет дополнительных модулей и сервисов из магазина (маркетплейса) решений

Данное направление объединяет в себе сразу 2 тренда – использование SOA и открытость архитектуры, и предполагает организацию на сайте разработчика платформы специального общедоступного раздела (маркетплейса) для обмена и продажи аддонов (сервисов), написанных как разработчиком платформы так и любым другим участником сообщества (партнером). Таким образом, вокруг платформы образуется новая экосистема, позволяющая разработчикам наращивать функциональность своих приложений с минимумом усилий. В случае размещения сервиса или решения в таком маркетплейсе, их разработчик получает не только лицензионные отчисления от покупки, но и доступ к каналам продаж всей партнерской сети. Подобные маркетплейсы реализуют на своих сайтах разработчики платформ «CUBA» и «ODANT».

В основных трендах развития корпоративных и государственных информационных систем и платформ их разработки в части требований к программному окружению, аппаратному обеспечению и сетевой инфраструктуре выделяются следующие направления:

4. Поддержка флэш-хранилищ данных (флэш-СХД)

По данным аналитиков IDC, в 2016-2017 годах рынок флеш-хранилищ претерпел значительные изменения, благодаря которым большинство клиентов (около 80%), которые ранее не пользовались системами хранения данных, собираются выбрать флеш-решения для работы с корпоративной информацией.

Наибольшей перспективой на рынке систем хранения данных обладают системы для веб-масштабируемых приложений и плотной консолидации смешанных нагрузок на основе флеш-накопителей. Областями, в которых наблюдается наибольшая дифференциация между производителями (в том, как они обновляют технологии и работают с клиентами), называют решения NVMe и облачные сервисы для прогнозной аналитики. Они могут быть вторичными для компаний, которые ищут надежную платформу для объединения рабочих нагрузок, однако вендоры, сосредоточенные на этих областях, способствуют трансформации рынка в сторону роста спецификаций флеш-массивов, которая в долгосрочной перспективе принесет значительную пользу корпоративным клиентам.

5. Поддержка свободного программного обеспечения

Программное обеспечение с открытым кодом имеет ряд преимуществ перед проприетарным ПО. Во-первых, это дешевизна и антикоррупционность. СПО не требует лицензионных выплат за каждый установленный экземпляр программы. Государство может провести открытый конкурс, однократно заплатить фирме-разработчику за поставку программного обеспечения и затем тиражировать его без ограничений. Таким образом, для обычных пользователей оно будет практически бесплатным. Во-вторых, СПО более безопасно. Многие проприетарные приложения от известных производителей содержат недокументированные функции, что является потенциальной угрозой. Доступ к исходным

кодам программы дает возможность контролировать этот аспект. В-третьих, СПО легко адаптируется: большое количество доступных свободных приложений позволяет приспосабливать их под конкретные нужды пользователей и создавать на их основе новые необходимые программы. В-четвертых, использование СПО учитывает национальные интересы. Несмотря на то, что создание свободных программ неотделимо от мирового сообщества разработчиков, сервисные услуги по их адаптации, внедрению, поддержке и развитию оказывают, как правило, национальные фирмы, что более выгодно государству и обществу. По данным аналитиков спрос на импортозамещающие программные продукты будет в ближайшие два года усиливаться в первую очередь, за счет государственного сектора. Рост замещения американских программных продуктов на ПО с открытым кодом или заказные разработки заметен также и в отечественных отраслевых корпорациях.

6. Поддержка гиперконвергентной инфраструктуры

Гиперконвергентная инфраструктура представляет собой горизонтально масштабируемые аппаратно-программные комплексы на базе x86-узлов с единой вычислительной средой и средой хранения, не требующие для функционирования выделенных систем хранения данных и в которых все необходимые инфраструктурные функции (такие как резервирование, репликация, высокая доступность, восстановление) реализуются на программном уровне.

Гиперконвергентные решения ориентированы на быстро развивающийся или динамично трансформирующийся бизнес, обеспечивая ему возможность быстро «включать» и «выключать» необходимые ИТ-ресурсы под меняющиеся требования и наращивая производительность до необходимого уровня. Это позволяет оперативнее внедрять идеи в практическую реализацию, а значит — существенно ускорять TTM (Time-to-market), чтобы быстрее выводить на рынок новые продукты. Именно этот аспект сегодня является ключевым для большинства цифровизирующихся отраслей. К другим значимым эффектам от гиперконвергенции относят возможность оптимизации расходов и упрощения модернизации инфраструктур. В частности, средства виртуализации позволяют решать проблему неэффективного использования серверных ресурсов, а переход к централизованной инфраструктуре и единым интерфейсам повышает эффективность управления вычислительными мощностями.

7. Увеличение скорости Интернет-соединений и расширение использования беспроводных и мобильных технологий передачи данных

Благодаря развитию мобильных сетей нового поколения (в том числе использование стандарта 5G), способных обрабатывать больше данных за более короткое время, в ближайшее время следует рост интереса к интернету вещей, мобильным платформам и облачным вычислениям. В России, в ближайший год создадут центр разработок под 5G-сети. Сами сети будут разворачиваться в стране фрагментарно начиная с промышленных объектов.

8. Поддержка графовых баз данных

В связи с трендом на импортозамещение, существенным требованием к современным платформам в части хранения данных становится возможность работы без привязки к специфике конкретной СУБД и адаптация к различным базам данных (в том числе свободным). При этом использование российских технологий в таком ключевом аспекте деятельности предприятия как хранение и обработка данных позволяет российским компаниям получить стратегическое конкурентное преимущество и избавиться от зависимости зарубежных вендоров программного обеспечения.

Также современные КИС должны обеспечивать возможность загрузки, хранения и выгрузки произвольных файлов, ассоциированных с сущностями системы. Стандартная реализация сохраняет файлы вне основной базы данных, в специальной структуре файловой системы. Передача файлов между пользовательским компьютером и хранилищем в обе стороны производится только путем копирования данных между потоками ввода-вывода. Ни на каком уровне приложения файл не оказывается целиком в памяти, поэтому возможна передача файлов практически любых размеров [1].

Высокие требования предъявляются также к сохранности данных. Современные системы хранения данных должны поддерживать возможности импорта-экспорта данных, синхронизации данных, резервное копирование, репликацию и обеспечивать высокое быстродействие.

9. Использование контейнеров и микросервисов

Для обеспечения масштабируемости и гибкости современных бизнес их можно создавать в облачной среде с применением технологии виртуализации на базе контейнеров.

Контейнеризация – это метод виртуализации на уровне операционной системы, предназначенный для развертывания и выполнения распределенных приложений на отдельной чисто аппаратной системе или на виртуальном узле с операционной системой. Такие системы являются следующим поколением виртуализации: если традиционная виртуальная машина позволяет абстрагировать устройство полностью, включая ОС, то контейнеры содержат только приложение и все зависимые компоненты, в которых оно нуждается. Это значительно упрощает как разработку, так и развертывание приложений. Неразделяемые на компоненты приложения можно реализовать в виде микросервисов и выполнять в контейнерах, что обеспечивает большую гибкость, масштабируемость и надежность.

Основными трендами развития корпоративных и государственных информационных систем, а соответственно и платформ их разработки, в части облачных и мобильных технологий являются:

10. Поддержка различных моделей предоставления ПО (SaaS, PaaS и IaaS) и типов его установки – в облаке, на собственных серверах и в смешанном режиме

Развитие новых технологий, таких как предоставление ПО «по требованию», развитие инфраструктуры «облачных» вычислений, сервисно-ориентированная архитектура и развитие поисковых алгоритмов, позволяют значительно облегчить сами процессы внедрения и использования систем, а также сделать решения более доступными и привлекательными для компаний малого и среднего бизнеса.

Потребители облачных вычислений могут значительно уменьшить расходы на инфраструктуру (в краткосрочном и среднесрочном планах) и гибко реагировать на изменения вычислительных потребностей.

Растущий спрос на облачные вычисления вида IaaS обусловлен такими преимуществами технологии, как гибкость, экономичность, быстрая эластичность, более широкий сетевой доступ и возможность использования только по-настоящему нужных мощностей. Кроме того, бизнес охотно осваивает IaaS из-за растущих требований к безопасности и больших расходов на обслуживание локальных ИТ-ресурсов.

Еще один тренд заключается в активной миграции корпоративных ИТ-инфраструктур в облако. При этом самым быстрорастущим сегментом PaaS-рынка аналитики называют DBPaaS (database platform as a service). Это связано с тем, что все больше hyperscale-провайдеров добавляет DBPaaS в список предоставляемых услуг.

11. Возможность получения облачных решений по подписке

Подписка на программное обеспечение – отличная альтернатива для пользователей, которые не готовы единовременно оплатить стоимость годовой лицензии на ПО.

Используя услугу подписки на ПО, абонент:

- за небольшую сумму в месяц приобретает право использования лицензионной программы;
- может ежемесячно менять программы, не подошедшие ему по каким-либо характеристикам;
- получает необходимую информационную и техническую поддержку, включая регулярные бесплатные обновления продукта.

Интерес среднего рынка к системам бизнес-аналитики во многом стал возможным благодаря снижению стоимости BI-решений, большинство из которых доступны сейчас в облаке по подписке.

12. Поддержка мобильных устройств и доступность приложений «on the go»

Привыкание пользователей, в том числе корпоративных, к повсеместному использованию мобильных технологий привело к тому, что они ожидают от бизнес-приложений также доступности на ходу (on the go) как нечто само собой разумеющегося. С другой стороны, корпоративные пользователи уже имеют стойкий опыт по взаимодействию с достаточно удобно сконструированными информационными технологиями для массовых пользователей, например, мобильными операционными системами и социальными сетями, веб-браузерами, так что растут их требования к гибкости и простоте работы, в том числе и с ECM (Enterprise Content Management).

Также активно развивается использование CPM (Corporate Performance Management) на мобильных платформах: сюда относится доставка отчетов и использование интерактивных дашбордов на мобильных устройствах, отражение KPI и другие возможности.

Бизнес-пользователям требуется возможность обращаться к актуальной информации не только в офисе. Они хотят иметь доступ к различным отчетам и видеть уровень выполнения ключевых показателей не только с корпоративного ноутбука, но и с мобильного телефона или планшета в дороге, на переговорах или конференциях.

Для оценки степени приоритетности развития КИС по вышерассмотренным перспективным направлениям осуществим экспертное оценивание с целью отбора наиболее прогрессивных технологий и расчета вероятностей их применения (таблица)[2].

Таблица – Оценка весомостей (важности) направлений развития архитектуры и технико-технологических характеристик платформ и разрабатываемых бизнес-систем

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	1/7	1/6	1/2	1/3	1/5	1/2	1/4	1/4	1/8	1/5	1/7	0,015344
2	7	1	2	6	5	3	6	4	4	1/2	3	1	0,162885
3	6	1/2	1	5	4	2	5	3	3	1/3	2	1/2	0,110898
4	2	1/6	1/5	1	1/2	1/4	1	1/3	1/3	1/7	1/4	1/6	0,021648
5	3	1/5	1/4	2	1	1/3	2	1/2	1/2	1/6	1/3	1/5	0,031797
6	5	1/3	1/2	4	3	1	4	2	2	1/4	1	1/3	0,073688
7	2	1/6	1/5	1	1/2	1/4	1	1/3	1/3	1/7	1/4	1/6	0,021648
8	4	1/4	1/3	3	2	1/2	3	1	1	1/5	1/2	1/4	0,047853
9	4	1/4	1/3	3	2	1/2	3	1	1	1/5	1/2	1/4	0,047853
10	8	2	3	7	6	4	7	5	5	1	4	2	0,229814
11	5	1/3	1/2	4	3	1	4	2	2	1/4	1	1/3	0,073688
12	7	1	2	6	5	3	6	4	4	1/2	3	1	0,162885

Далее с учетом важности рассмотренных направлений экспертами составляются матрицы с весами и вероятностями выделенных тенденций, при этом направления, весомости которых составляют меньше 0,05, были отброшены как наименее значимые (рис.).

Вероятности реализации перспективных направлений в современных КИС были проставлены экспертным путем на основе проведенного анализа перспектив развития программного обеспечения, как в России, так и за рубежом [3].

На основе анализа весов и вероятностей тенденций и требований групп пользователей были сформулированы рекомендации по развитию интегрированного комплекса средств высокоуровневой разработки и среды функционирования информационных систем корпоративного уровня (ИК ИСКУ) для обеспечения его конкурентоспособности.

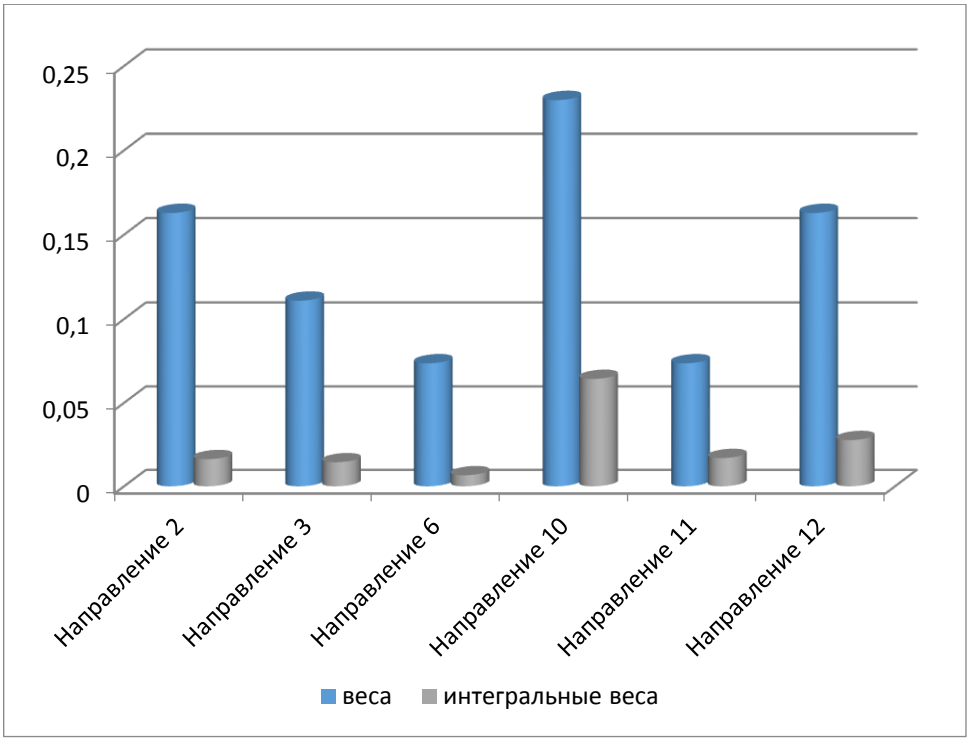


Рис. – Оценка весомостей основных направлений развития (расчетная и приведенная)

По результатам проведенных исследований и сопоставительного анализа с текущей реализаций ИК ИСКУ можно рекомендовать:

1. по вопросам актуального состояния архитектуры и компонентного состава отечественных платформ разработки, пользовательских требований и современных трендов в области проектирования архитектур комплексных систем - разработку компонентов управления лицензиями с использованием специализированного маркетплейса, что позволит использовать дополнительные модули, сервисы и компоненты Платформы.
2. по вопросам актуальных требований к программному окружению, аппаратному обеспечению и сетевой инфраструктуре отечественных платформ разработки, пользовательских требований и современных трендов в области поддержки новейших аппаратных и программных технологий - реализацию поддержки мобильных платформ для интеграции со сторонними приложениями.
3. по вопросам выбора сред и технологий быстрой разработки бизнес-приложений в отечественных платформах разработки - обеспечение поддержки актуальных и перспективных версий компонентов и инструментов технологического стека.
4. по вопросам применения облачных технологий в отечественных платформах разработки - реализацию поддержки облачных технологий в рамках различных моделей – SaaS, PaaS и IaaS и типов установки – в облаке, на собственных серверах и смешанном режиме.
5. по вопросам применения мобильных технологий в отечественных платформах разработки - реализацию поддержки интегрированных мобильных приложений, с предоставлением доступа к ним, например, через сервисы «Google Play» и «App Store».

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

Список литературы

1. Платформа CUBA. Руководство по разработке приложений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doc.cuba-platform.com/manual-6.10-ru/manual.html (дата обращения 25.09.2019)

2. Вероятностные деревья решений: Программная реализация в решении задач классификации и прогнозирования / Татьяна Зайцева ; Ольга Пусная/ Германия - LAP LAMBERT Academic Publishing / 2014, 96с

3. *Zaitseva T.V., Lomakin V.V., Putivtseva N.P., Pusnaya O.P., Ilyinskaya E.V.* The Procedure for Identifying the Compliance of the Performer's Competencies with the Stated Requirements Based on The Bayesian Approach International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.36) (2018) 98-102

05.13.01

**Н.П. Путивцева канд. техн. наук, В.В. Ломакин канд. техн. наук,
Т.В. Зайцева канд. техн. наук, О.П. Пусная**

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

К ВОПРОСУ О СПЕЦИФИКЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЛАТФОРМАХ РАЗРАБОТКИ КИС

В данной статье рассматриваются наиболее популярные отечественные инструментальные средства управления бизнес-процессами. Приведены примеры реализации механизмов управления бизнес-процессами в рассмотренных платформах.

Ключевые слова: *платформа, механизм управления, бизнес-процессы, корпоративные информационные систем.*

Платформы позволяют вести разработку приложений различной отраслевой и функциональной направленности. Наличие наборов универсальных функциональных подсистем и технологии для разработки прикладных решений позволяет быстро создавать новые подсистемы с уже готовой базовой функциональностью, а также включать готовые функциональные блоки в существующие подсистемы. Использование в подсистемах «наборного» функционала при разработке прикладных решений позволяет также достичь большей стандартизации подсистем, что уменьшит время на изучение и внедрение прикладных решений за счет их унификации по набору используемых стандартных подсистем [1].

Реализация в платформе механизма управления бизнес-процессами позволяет описывать, создавать и управлять выполнением бизнес-процессов в прикладных решениях. Целью этого механизма является автоматизация цепочек связанных операций, направленных на достижение общей цели, обычно в контексте организационной структуры, определяющей функциональные роли и связи. Данный механизм может включать в себя: дизайнер процессов, интегрированную модель данных, процессные формы (способ отображения действий и назначений пользователям при исполнении процесса), пользовательский интерфейс для управления моделями процессов, активными процессами и назначениями и наборы типовых моделей процессов и другие компоненты.

Решение для управления бизнес-процессами, как правило, основано на общепринятой нотации BPMN 2.0, являющейся стандартом в области моделирования и автоматизации бизнес-процессов.

Примеры реализации механизмов управления бизнес-процессами в исследуемых отечественных платформах разработки КИС представлены на следующих рисунках.

На рисунке 1 описаны бизнес-процессы на платформе «AggreGate». AggreGate – это интеграционная платформа Интернета вещей с возможностью ребрендинга, обеспечивающая глубинную аналитику данных, позволяющую принимать стратегические решения по развитию бизнеса. В то время как универсальность платформы AggreGate обычно является преимуществом, часто необходимо использовать готовое решение, созданное для конкретной области применения [2].

На рисунке 2 представлены механизмы управления бизнес-процессами на платформе «Comindware Business Application Platform», которая способна реализовывать цифровые бизнес-процессы быстро и с минимальным использованием программного кода.

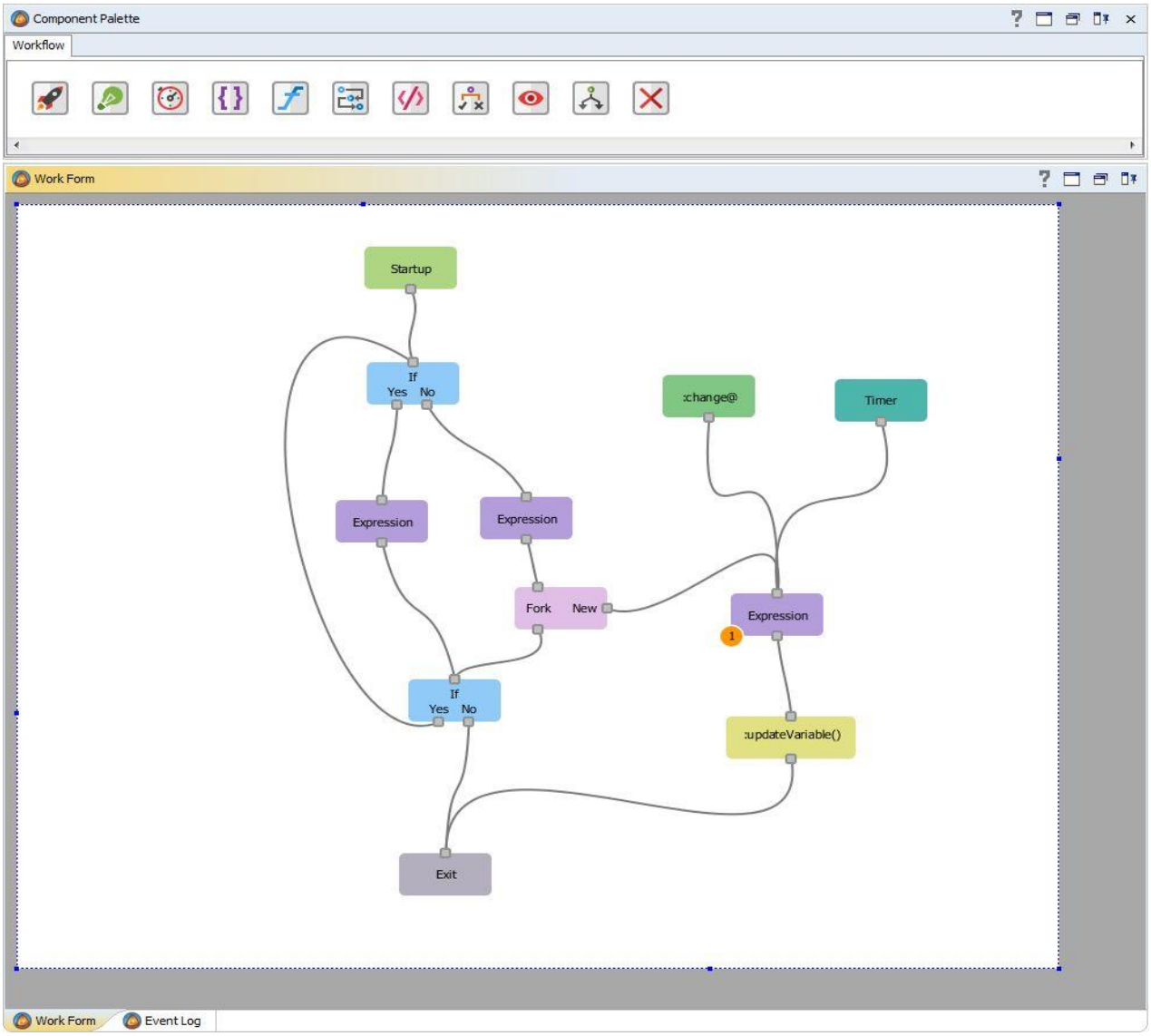


Рис. 1 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «AggreGate»

Особенностью Low-code платформы, отличающей ее от решений на базе ERP, классических BPM-систем и прочих платформ для ИТ-разработчиков, является возможность создавать отраслевые решения и в дальнейшем изменять их бизнес-логику за минимальное время, преимущественно силами бизнес-аналитиков с минимальным привлечением ИТ-специалистов [3].

Платформа CUBA, представленная на рисунке 3, предлагает модульную и масштабируемую архитектуру на основе популярных фреймворков, созданную для работы в любом окружении. Архитектура платформы позволяет включить любое CUBA-приложение в состав другого [4]. Это дает возможность легко реализовать модульность, разрабатывая отдельно компоненты приложения и объединяя их в дальнейшем в единую систему.

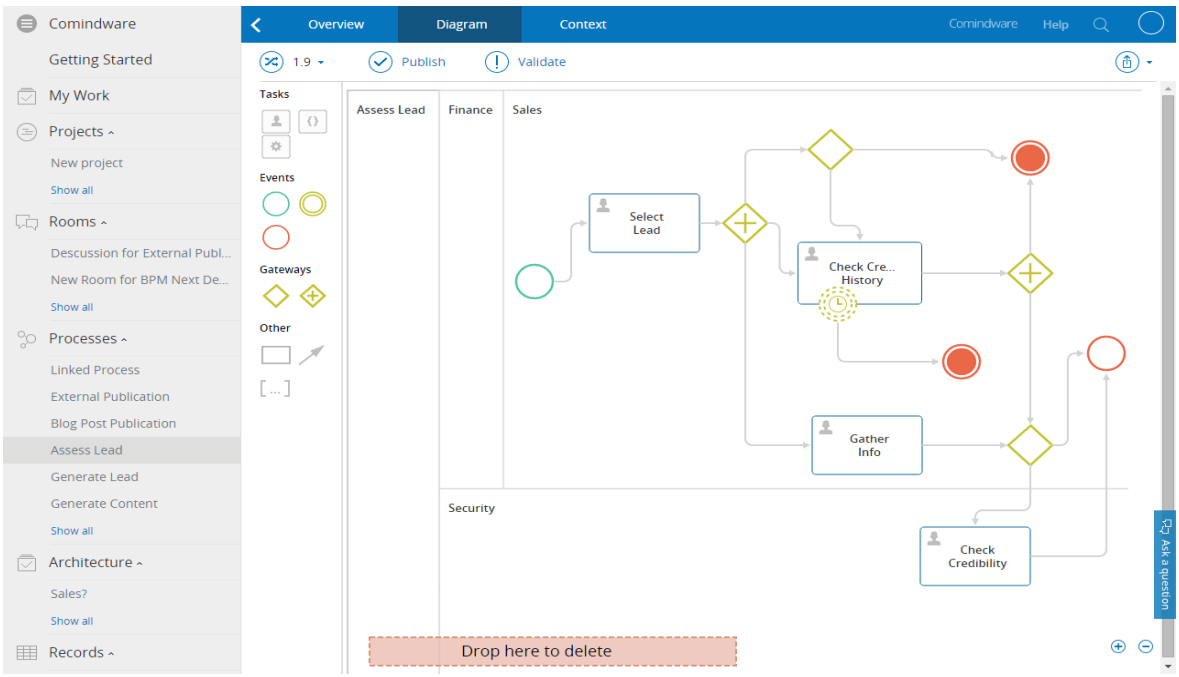


Рис. 2 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «Comindware Business Application Platform»

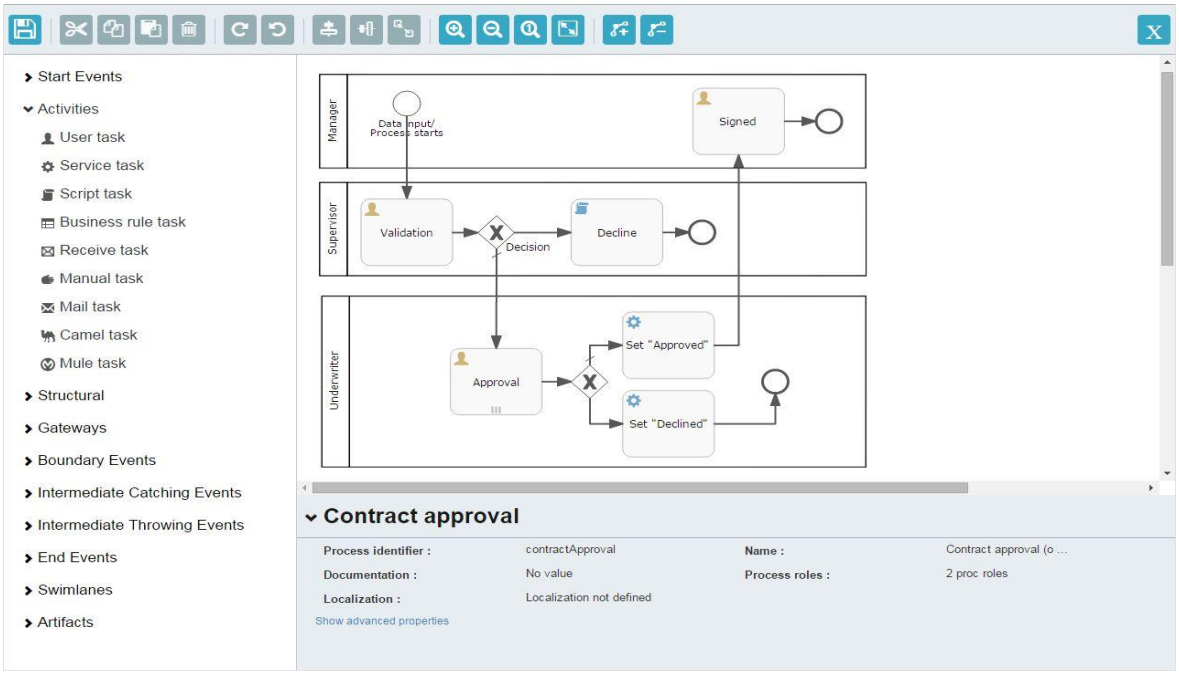


Рис. 3 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «CUBA»

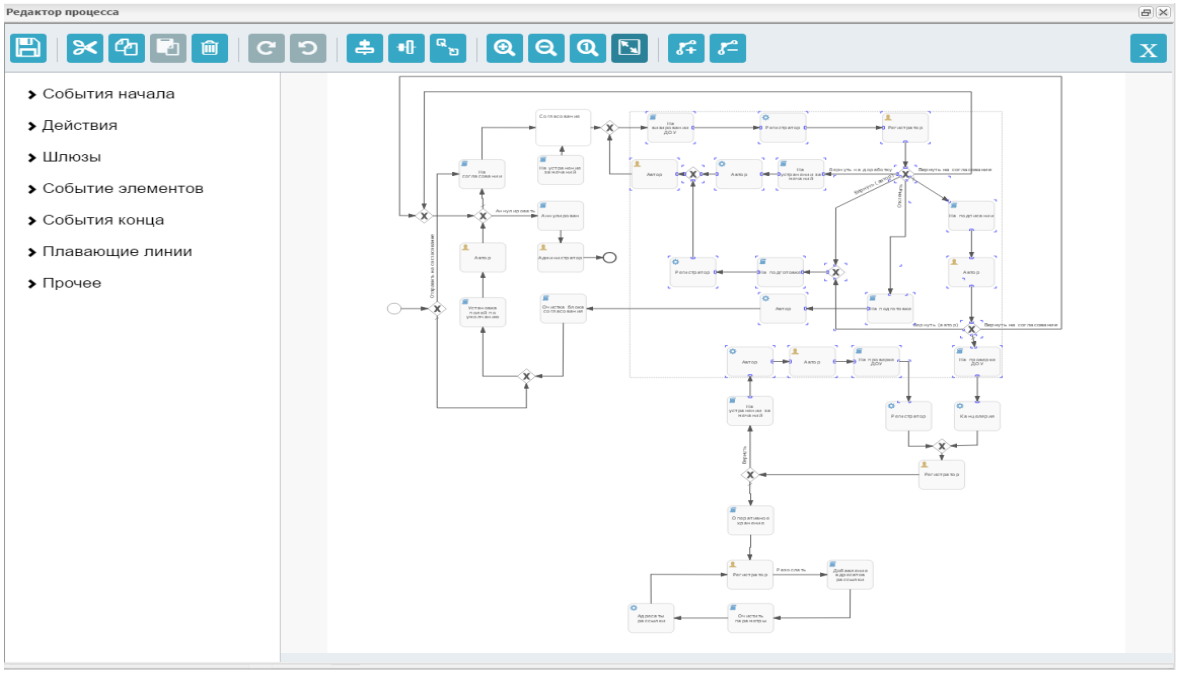


Рис. 4 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «Motiware Melody One»

Платформа Motiware Melody One, рассмотренная на рисунке 4, - это гибкое, надёжное и производительное решение для быстрой разработки и внедрения корпоративных веб-приложений с учетом индивидуальных требований [5].

На платформе Melody реализованы типовые информационные системы, которые легко адаптировать под конкретные проекты. Для решения узкоспециализированных задач платформа Melody позволяет быстро создавать приложения «с нуля». Гибкие настройки всех объектов системы позволяют учесть нюансы и особенности бизнеса, получив в итоге продукт, идеально подходящий для решения любых задач.

АИС «Проектное управление» на базе платформы Melody является современным инструментом поддержки проектного управления в организациях любых сфер деятельности. Система позволяет организовать полный цикл процесса управления проектом и/или портфелем проектов с учетом актуальной нормативной базы и индивидуальных особенностей бизнес-процессов предприятия.

Одним из инструментальных решений платформы 1С:Предприятие 8 является использование механизма бизнес-процессов. Пример реализации данного механизма представлен на рисунке 5, из которого видно, что прикладной механизм БП позволяет не только производить описание бизнес-процессов, но и осуществлять управление ими. Наличие средств описания схем БП с возможностью использовать ролевую маршрутизацию и организовывать связи с другими приложениями платформы позволяет автоматизировать цепочки связных операций в контексте оргструктуры.

Механизм бизнес-процессов предлагает готовую стратегию автоматизации совместной деятельности работников предприятия. Для описания простейших бизнес-процессов достаточно визуального задания схемы маршрута и указания условий ветвления в их узловых точках. Все остальные действия выполняются системой автоматически [6].

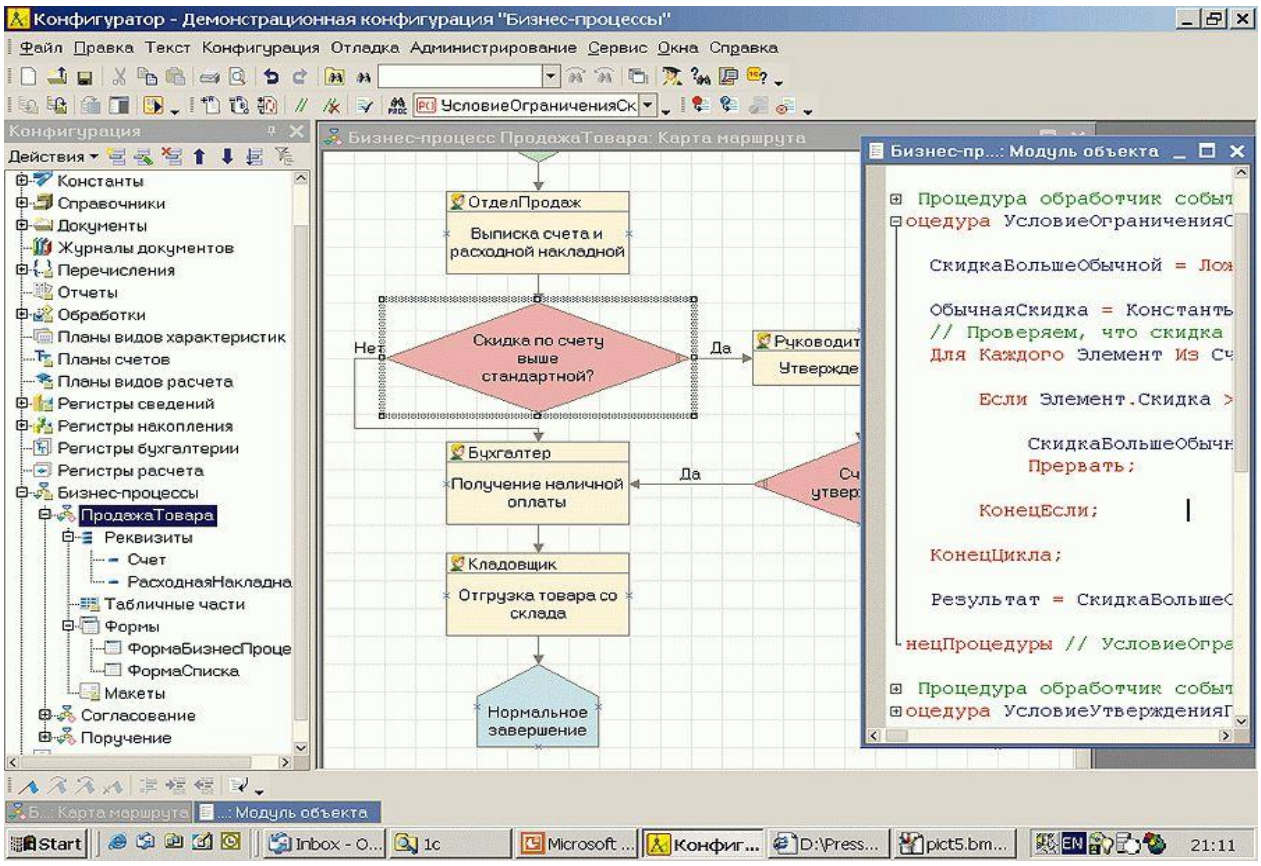


Рис. 5 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «1С:Предприятие 8»

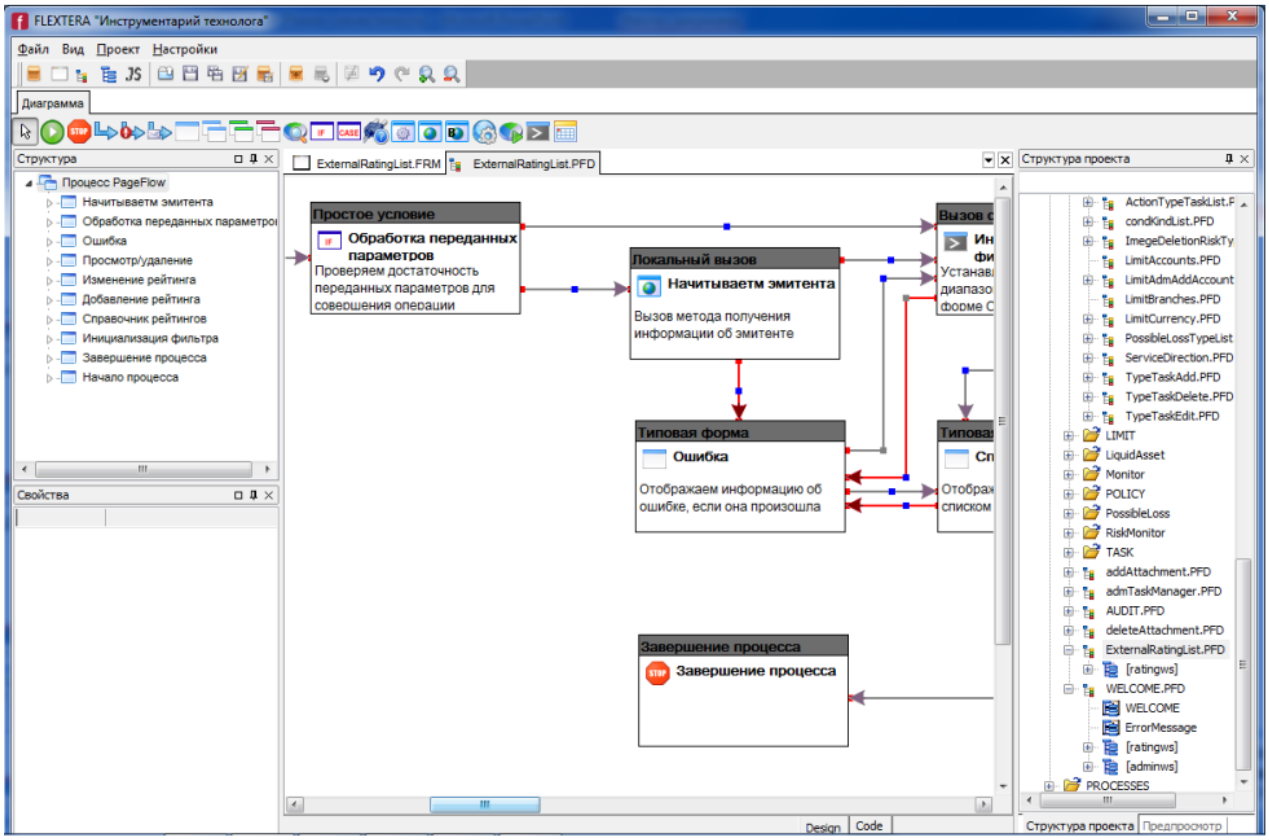


Рис. 6 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «Diasoft Framework»

Рассмотренная на рисунке 6 платформа Diasoft Framework – это объединение методологий, инструментов, библиотек и готовых программных решений. Приложения, созданные на основе платформы Diasoft Framework, обладают всеми характеристиками зрелых программных продуктов мирового класса:

- Обладают продуманной архитектурой, написаны на языке Java и основаны на промышленных стандартах и спецификациях.
- Обеспечивают работу пользователей, говорящих на разных языках.
- Имеют современный и удобный пользовательский интерфейс с возможностью настройки под потребности пользователей и персонификации.
- Функциональность этих решений доступна конечному пользователю через широкую палитру различных каналов доступа, включая мобильные устройства и планшеты.
- Обеспечивают высокий уровень безопасности проводимых операций.
- Содержат в своем составе развитые средства администрирования и мониторинга.
- Хорошо масштабируются и при соблюдении соответствующих технических требований и рекомендаций по развертыванию способны выдерживать экстремально высокие нагрузки как в терминах количества параллельно работающих пользователей, так и в терминах объемов обрабатываемых каждую секунду данных [7].

Платформа OpenIcar, которая представлена на рисунке 7, это –технологическая основа для реализации современных процессно-ориентированных прикладных решений [8].

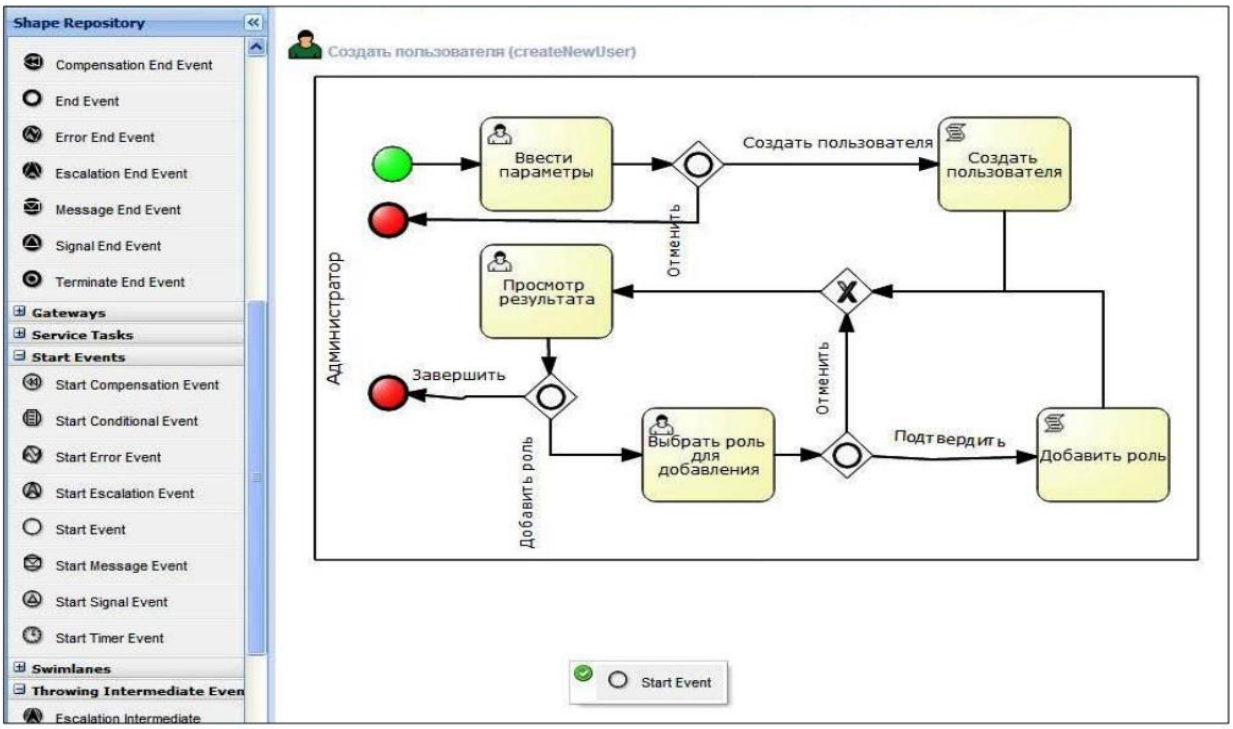


Рис. 7 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «OPENICAR»

Ключевые особенности:

- Поддержка стандарта BPMN 2.0.
- Полная поддержка процессного подхода – от моделирования до исполнения бизнес-процессов управление метаданными бизнес-сущностей.
- Применение в решении исполняемых бизнес-процессов позволяет реально и непосредственно использовать результаты работы аналитиков и консультантов.
- Декларативность при описании бизнес-сущностей и бизнес-логики позволяет снизить затраты непосредственно на разработку.
- Изменчивость и адаптивность позволяет эффективно решать проблемы, связанные с адаптацией процессов к требованиям конкретного заказчика и последующей поддержкой изменений.

На платформе OpenIcar разработаны следующие продукты:

- Система корпоративного электронного документооборота и электронного архива. Предназначена для автоматизации бизнес-процессов, связанных с управлением жизненным циклом документов и ведением электронного архива предприятия.
- Автоматизированная информационная система безбумажного документооборота - это заказная разработка для нужд ПАО "МРСК УРАЛА" на основе продукта COMSOFT DOCS. Предназначена для комплексной автоматизации бизнес-процессов документационного обеспечения, включая филиалы и подразделения компании.
- Информационная система «Управление процессом технологического присоединения». Система предназначена для автоматизации бизнес-процессов управления технологическим присоединением энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрическим сетям.
- Информационная система сбора и обработки информации о технологических нарушениях. Система предназначена для своевременного получения заинтересованными должностными лицами точной и полной информации об объемах отключенного электросетевого оборудования и ЛЭП, количестве и составе отключенных потребителей электроэнергии.

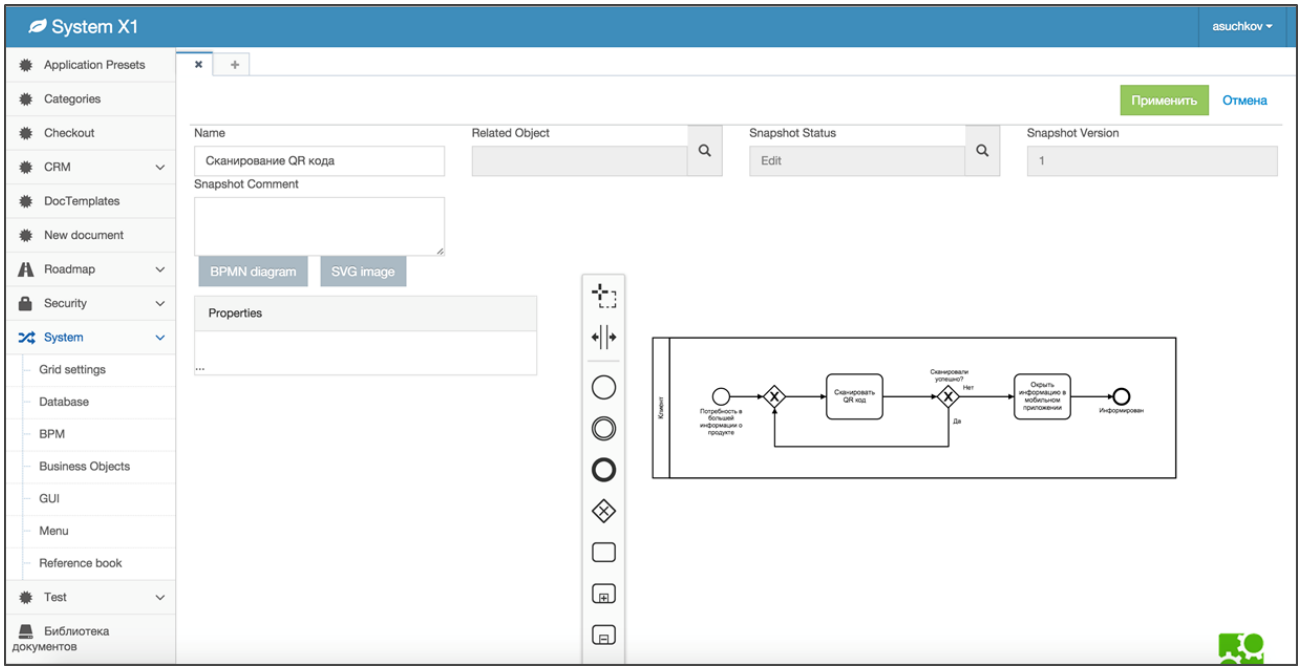


Рис. 8 – Механизм управления бизнес-процессами платформы «X360»

X360 на рисунке 8 – это современная платформа, которая предназначена для разработки и последующего исполнения информационных систем. Осуществление рабочего процесса происходит на основе уже созданных и заранее настроенных форм, шаблонов, справочников и готовых бизнес-процессов. Инструменты X360 ориентированы на групповую и успешную работу специалистов разного профиля – это могут быть как работники компании, так и рядовые пользователи информационных систем [9].

В связи с реализацией импортозамещения увеличивается удельный вес отечественных программных продуктов в различных предметных областях, в том числе и при управлении бизнес-процессами, и каждое из рассмотренных программных средств обладает своими особенностями, достоинствами и недостатками.

При выборе программного средства необходимо учитывать не только его характеристики, но и специфику использования как для достижения целей организации, так и для проведения научных исследований. С целью выбора наиболее популярной платформы был проведен сравнительный отбор восьми вышерассмотренных и выбрана наиболее предпочтительная.

Для сравнения рассматриваемых платформ были привлечены магистранты как потенциальные пользователи данных платформ. При этом платформы оценивались по следующим критериям: удобство, понятность, русификация, наличие «горячих» клавиш, наглядность результата, степень детализации, а также наличие дизайнера процессов, интегрированной модели данных, процессных форм, наборов типовых моделей процессов и ряда других компонентов.

Из рассмотренных 8 платформ наивысшие показатели практически по всем критериям были поставлены платформам «1С:Предприятие 8», «CUBA», «Diasoft Framework».

Выводы:

1. Практически все рассмотренные в данной статье решения для управления бизнес-процессами основаны на общепринятой нотации BPMN 2.0;
2. по результатам проведенного анализа наиболее популярными средствами, визуализирующими механизмы управления бизнес-процессами, являются платформы «1С:Предприятие 8», «CUBA», «Diasoft Framework»;
3. графическое представление процесса управления БП в платформах достаточно разнообразно, и любой разработчик может подобрать наиболее подходящий для себя инструмент.

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

Список литературы

1. *Lomakin V.V., Putivtseva N.P., Zaitseva T.V., Pusnaya O.P., Zaitsev I.M.* Comparative Analysis of Tools for Modelling Business Processes of Organization Management International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.36) (2018) 134-139
2. AggreGate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aggregate.tibbo.com/ru/ (дата обращения 14.09.2019)
3. Comindware Business Application Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.comindware.com/ru/platform/ (дата обращения 15.09.2019)
4. CUBA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cuba-platform.ru/ (дата обращения 14.09.2019)
5. Motiware Melody One [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.melody1.ru/ (дата обращения 15.09.2019)
6. Платформа «1С:Предприятие 8» конфигурация Бизнес-процессы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://v8.1c.ru/overview/Term_000000270.htm (дата обращения 15.09.2019)
7. Diasoft Framework [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.diasoft.ru/software/framework/About_DF/ (дата обращения 16.09.2019)
8. OPENICAR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.comsoft-corp.ru/products/openicar-platform (дата обращения 16.09.2019)
9. Платформа «X360» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.syssoft.ru/Industrial-Data-Systems/IDS-Platforma-X360/ (дата обращения 16.09.2019)

05.13.01

А.М. Станкевич

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет,
кафедра прикладной информатики,
Москва, stan@inmas.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ РАБОТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В работе представлена формализация задачи оптимального формирования пакетов работ на техническое обслуживание (ТО) воздушных судов (ВС) в рамках планового события ТО. Также представлена базовая модель, относящаяся к классу моделей линейного программирования, на основе которой возможно решение указанной задачи.

Ключевые слова: *планирование технического обслуживания, авиационная техника, резерв времени на выполнение работ, пакет работ, модель линейного программирования.*

В развитие положений, изложенных в [1], в данной работе представлена формализация задачи оптимального формирования пакетов работ на ТО воздушных судов и предложена базовая модель, на основе которой возможно решение этой задачи.

Все работы ТО можно условно разделить на следующие два множества работ:

- F – плановые работы, объединяемые в форму ТО по критерию одинаковой периодичности их выполнения;
- P – работы ТО, не соответствующие ни одной из форм. К таким работам, например, относятся:
  - плановые работы, выполняемые с заданной периодичностью, но периодичность выполнения этих работ не совпадает с периодичностью ни одной из форм ТО;
  - работы, связанные с заменой компонентов в связи с выработкой их ресурса; работы, связанные с выполнением указаний сервисных бюллетеней, сервисных писем, директив лётной годности и т.п.;
  - работы, связанные с контролем конструкции планера, сформированные в результате анализа повреждений конструкции планера;
  - работы, связанные с предупредительным (“предиктивным”) обслуживанием (на основе информации, получаемой в реальном режиме времени с датчиков, установленных на ВС);
  - работы, связанные с устранением неисправностей.

Для всех работ, относящихся к множеству P характерно то, что для каждой из них задан крайний срок её выполнения в соответствии с эксплуатационно-технической документацией (к эксплуатационно-технической документации также относятся бюллетени, минимальные перечни оборудования, руководства по ремонту планера и т.п. [2]).

На основе информации о среднегодовой (среднемесячной, средней в день) плановой наработке ВС формируется календарный график выполнения работ ТО, относящихся к формам ТО. Таким образом, определяются плановые моменты времени наступления событий ТО для каждого из ВС. Под событием ТО будем понимать промежуток времени для остановки полётов экземпляра ВС с целью выполнения необходимых работ ТО.

Как указывалось в [1], при планировании работ ТО, ко времени выполнения работ, составляющих соответствующую форму ТО, добавляется резервное время R, в рамках которого могут выполняться работы из множества P. Это время определяется экспертным путём исходя из опыта эксплуатации парка ВС авиакомпании.

Как правило, работы P выполняются в рамках одного из событий ТО, соответствующего форме из множества F. Причём, работы из множества P должны выполняться в рамках того

события ТО, плановый момент начала выполнения которого меньше, чем плановый момент начала выполнения соответствующей работы из множества P. Например, если между двумя последовательными событиями ТО, соответствующими формам F_1 и F_2, должны быть выполнены работы P_1, то эти работы должны быть выполнены в рамках события ТО, соответствующего форме F_1, в течение выделенного резервного времени R_1. С другой стороны, работы из любого множества P_i, где $i > 1$, могут быть распределены между событиями ТО, соответствующими формам F_j, где $0 < j \leq i$ в рамках их резервного времени R_j. Таким образом, задача заключается в выборе оптимального распределения множества работ P по событиям ТО, соответствующим формам F.

Модель, на основе которой может быть решена приведённая выше задача, формируется на базе следующих модельных множеств:

- E – множество событий ТО на заданном горизонте планирования;
- $W = F \cup P$ – множество работ ТО, которые должны быть распределены по событиям ТО;
- S – множество специализаций технического персонала, выполняющего работы ТО.

В модели используются следующие параметры:

- $ae_e, \forall e \in E$ – идентификаторы (бортовые номера) ВС, для которых сформированы соответствующие события ТО;
- $tsen_e, \forall e \in E$ – заданные плановые сроки начала событий ТО;
- $teen_e, \forall e \in E$ – заданные плановые сроки окончания событий ТО;
- $m_s, \forall s \in S$ – наличное количество техников со специализацией s (штатное расписание);
- $aw_w, \forall w \in W$ – идентификаторы (бортовые номера) ВС, к которым относятся распределяемые работы;
- $twn_w, \forall w \in W$ – плановые (директивные) сроки начала выполнения распределяемых работ;
- $hw_{ws}, \forall w \in W, \forall s \in S$ – трудоёмкость выполнения техническим персоналом со специализацией s работы w;
- $we_{we}, \forall w \in W, \forall e \in E$ – двоичный параметр, отражающий факт того, что работа w обязательно должна быть выполнена в рамках события ТО e (например, работа относится к множеству работ, составляющих форму обслуживания F):

$$we_{we} = \begin{cases} 1 - \text{работа } w \text{ должна быть выполнена в событии } e; \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Модельная переменная определяется следующим образом:

- $x_{we} \in \{0, 1\}, \forall w \in W, \forall e \in E$ – двоичная переменная, отражающая факт того, что работа w включается в событие ТО e:

$$x_{we} = \begin{cases} 1 - \text{работа } w \text{ включается в событии ТО } e; \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Задача решается при следующих модельных ограничениях:

- каждая работа может быть назначена только на одно событие ТО:

$$\sum_{e \in E} x_{we} = 1, \forall w \in W$$

- работа не может быть назначена на событие ТО, если работа и событие относятся к разным бортовым номерам или плановое (директивное) время начала работы меньше времени начала события ТО:

$$x_{we} = 0, \forall w \in W, \forall e \in E, (aw_w \neq ae_e) \vee (twn_w < tsen_e)$$

- для каждого события ТО по каждой специализации суммарная трудоёмкость работ в этом событии ТО, требующих данной специализации технического персонала, не должна превышать наличный ресурс по этой специализации в этом событии ТО:

$$\sum_{w \in W} x_{we}\, hw_{ws} \leq m_s(teen_e - tsen_e), \forall s \in S, \forall e \in E$$

- суммарная трудоёмкость выполнения распределённых по событиям ТО работ на заданном горизонте планирования не должна превышать общий наличный ресурс по каждой специализации технического персонала на этом горизонте планирования, определяемом как разница между временем завершения самого позднего события ТО и временем начала самого раннего события ТО:

$$\sum_{w \in W, e \in E} hw_{ws} x_{we} \leq m_s\left(max_{e \in E}(teen_e) - min_{e \in E}(tsen_e)\right),$$

$$\forall s \in S, \forall e \in E$$

- если работа обязательно должна выполняться в определённом событии ТО, то она назначается этому событию:

$$x_{we} = 1, \forall w \in W, \forall e \in E, we_{we} = 1$$

Цель заключается в том, чтобы по событиям ТО разместить как можно больше работ и, при этом, обеспечить максимальную загрузку технического персонала с учётом ограничений, представленных выше. Исходя из этого, целевая функция может быть представлена в следующем виде:

$$Max\ Z = \sum_{w \in W, e \in E, s \in S} hw_{ws}\, x_{we}$$

Необходимо отметить, что представленная модель обеспечивает решение задачи объёмного планирования работ ТО. Задача же календарного планирования этих работ в рамках соответствующего события ТО требует отдельного исследования.

Список литературы

1. *Станкевич А.М.* Задача оптимального формирования пакетов работ на техническое обслуживание воздушных судов (общая постановка) // Научно-технический вестник Поволжья. №10, Казань, 2018. – с. 196-198.

2. ГОСТ 18675-2012. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия на неё. М.: Стандартинформ, 2013.

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

05.13.06

К.Г. Горгоц канд. техн. наук, О.В. Горгоц канд. эконом. наук

Югорский государственный университет,
Институт нефти и газа,
Ханты-Мансийск, gorgotz_konst@mail.ru, o_gorgots@mail.ru

БЕСШАТУННЫЙ ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В работе представлены результаты разработки конструкции бесшатуного поршневого двигателя внутреннего сгорания. Предложенная конструкция позволяет снизить внутренние механические потери в цилиндро-поршневой группе двигателя, тем самым повысить долговечность его работы и создаёт предпосылки для форсирования путём повышения скорости перемещения поршней внутри цилиндров и увеличения частоты вращения выходного вала.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания; кривошипно – шатунный механизм, поршень.*

В современных автотракторных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение выходного вала повсеместно используются кривошипно-шатунные механизмы. В таких ДВС шатуны, соединённые с поршнями, совершают возвратно-поступательные и колебательные движения. В результате этого возникают силы перпендикулярные осям цилиндров и прижимающие поршни к стенкам цилиндров. Вследствие действия таких сил возникают значительные потери на трение между поршнем и стенкой цилиндра, что ведёт к увеличению тепловыделения, снижению КПД и износу боковых поверхностей поршней и стенок цилиндров. Так же эти силы создают опрокидывающий момент, передающийся на опоры ДВС и являющийся одной из причин его неуравновешенности [1].

Полностью исключить действие таких сил позволяет конструкция бесшатунного поршневого двигателя внутреннего сгорания [2]. Схема конструкции бесшатунного поршневого ДВС представлена на рисунках 1а и 1б. Бесшатунный поршневой двигатель внутреннего сгорания состоит из корпуса 1 с расположенным в нём цилиндром (ами) 2, внутри которого находится поршень 3, соединённый со штоком 4. На штоке 4 расположены две зубчатые рейки 5, 6, входящие в зацепления с зубчатыми секторами 7, 8, закреплёнными на первичных валах 9, 10. Данные валы кинематически связанных между собой установленными на их торцах на выходе из двигателя кривошипами 11, 12, соединёнными при помощи шарнирных рычагов 13, 14 с промежуточными шестернями 15, 16. Данные шестерни входят в зацепления с центральной шестернёй 17, установленной на выходном валу двигателя 18. Шарниры 19, 20 шарнирных рычагов 13, 14 расположены соответственно на расстояниях R1 относительно центральных осей кривошипов 11, 12. Шарниры 21, 22 шарнирных рычагов 13, 14 расположены соответственно на расстояниях R2 относительно центральных осей промежуточных шестерён 15 и 16.

Работа бесшатунного поршневого ДВС осуществляется следующим образом. Внутри цилиндра 2, расположенного в корпусе 1 находится поршень 3 совершающий возвратно-поступательные движения между верхней мёртвой точки (ВМТ) и нижней мёртвой точкой (НМТ). Соединённый с поршнем 3 шток 4 и расположенные на нём зубчатые рейки 5 и 6 так же совершают возвратно-поступательные движения, приводя во вращательно-колебательные движения зубчатые сектора 7, 8 и соединенные с ними валы 9, 10. Эти валы передают

вращательно-колебательные движения установленным на их торцах на выходе из двигателя кривошипам 11 и 12. Соединённые с кривошипами 11 и 12 шарнирные рычаги 13 и 14 совершают возвратно-поступательные и колебательные движения и приводят во вращательное движение промежуточные шестерни 15 и 16, передающие вращательное движение центральной шестерне 17, установленной на выходном валу двигателя 18. На выходной вал 18 может при необходимости устанавливаться маховик.

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания при возвратно-поступательных перемещениях поршня 3 со стороны газов на него действует сила P (рис. 2) переменная по величине и направлению. Данная сила направлена вдоль продольной оси поршня, от него она передаётся на шток 4 и далее на рейки 5 и 6. Для геометрически точной передачи в полюсах зацеплений зубьев зубчатых реек 5, 6 и зубьев зубчатых секторов 7, 8 возникают силы P1 и P2, для которых выполняется условие

$$P1 = P2 = 0{,}5P.$$

Каждая из сил P1 и P2 раскладываются на две составляющие – силы $P\tau 1$ и $P\tau 2$, действующие по нормали к рабочим поверхностям сопряжённых зубьев и силы Pr1, Pr2 , действующие по касательным к линиям зацеплений сопряжённых зубьев. Величины этих сил определяются следующими зависимостями

$$P\tau 1 = P\tau 2 = 0{,}5P\ P\cos\alpha,$$
$$Pr1 = Pr2 = 0{,}5P\ P\sin\alpha.$$

Силы Pr1 и Pr2 равны между собой и являются сходящимися в одной точке, таким образом наличие на штоке 4 двух зубчатых реек 5 и 6 ведёт к взаимному уравновешиванию сил Pr1 и Pr2 , это исключает возникновение сил, перпендикулярных осям цилиндров и прижимающих поршни к их стенкам.

В многоцилиндровом бесшатунном поршневом двигателе внутреннего сгорания поршни могут располагаться по рядной схеме, V образно или оппозитно. Количество поршней может быть произвольным, так же как и у двигателей внутреннего сгорания с кривошипно-шатунными механизмами, применяемыми в транспортных машинах, а также в других передвижных и стационарных устройствах.

Создание принципиально новой конструкции двигателя внутреннего сгорания представляет собой сложную комплексную задачу, её решение может быть разделено на следующие основные этапы:

- установление параметров кинематической схемы;
- разработка конструктивных форм;
- разработка технологических и технико-экономических параметров.

Наличие в бесшатунном ДВС механизма преобразования (МП) возвратно - поступательного движения поршней во вращательное движение выходного вала позволяет реализовать некоторые дополнительные возможности, отсутствующие в конструкциях традиционных поршневых ДВС, при этом имеют место и некоторые ограничения, накладываемые на отдельные его параметры условиями соседства основных кинематических звеньев. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть данные вопросы.

При проектировании современных транспортных, транспортно-технологических и специальных машин решается вопрос согласования частоты вращения коленчатого вала двигателя с частой вращения валов в коробке передач. Для быстроходных ДВС такое согласование частот вращения обеспечивается путём установки на входе в коробку передач пары зубчатых колёс постоянного зацепления с передаточным числом больше единицы. В трансмиссиях тяжёлых машин с дизельными двигателями устанавливаются входные редукторы или на входе в коробку передач пары зубчатых колёс постоянного зацепления с передаточным числом меньше единицы. У машин с гидротрансформаторами между двигателем и трансмиссией, как правило, устанавливаются согласующие редукторы,

обеспечивающие оптимальную частоту вращения насосного колеса гидротрансформатора. Предложенная конструкция бесшатунного поршневого двигателя внутреннего сгорания позволяет менять его скоростную характеристику при неизменном термодинамическом процессе путём подбора передаточного числа u в зацеплениях промежуточных шестерён (15 и 16) с центральной шестернёй 20 и, тем самым, обеспечивать согласование частоты вращения коленчатого вала двигателя с частой вращения валов в коробке передач. Величина передаточного числа u составляет

$$u = Rц / Rп,$$

где Rц, Rп – соответственно радиусы делительных окружностей центральной шестерни и промежуточных шестерён, мм.

В рассматриваемой конструкции ДВС ход поршня S - расстояние от верхней мёртвой точки до нижней мёртвой точки соответствует повороту каждой промежуточной шестерни (15, 16) на угол равный 180°. Пути lш21 и lш22 проходимые шарнирами 21 и 22 по дугам окружностей радиусов R2 составят

$$lш21 = lш22 = \pi \cdot R2.$$

Условием преобразования возвратно - колебательных движений кривошипов 11 и 12 во вращательные движения промежуточных шестерён 15 и 16 является равенство путей lш21 и lш22 , проходимых шарнирами 21 и 22 по дугам окружностей с радиусами R2 и путей lш19 и , lш20, проходимых шарнирами 19 и 20 по дугам окружностей с радиусами R1. При этом должно выполняться условие lш21 = lш22 = lш19 = lш20. В свою очередь величины lш19 и lш20 могут быть представлены

$$lш19 = lш20 = 2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot \beta / 360 ,$$

где β - максимальный угол поворота шарнирных рычагов 9, град.

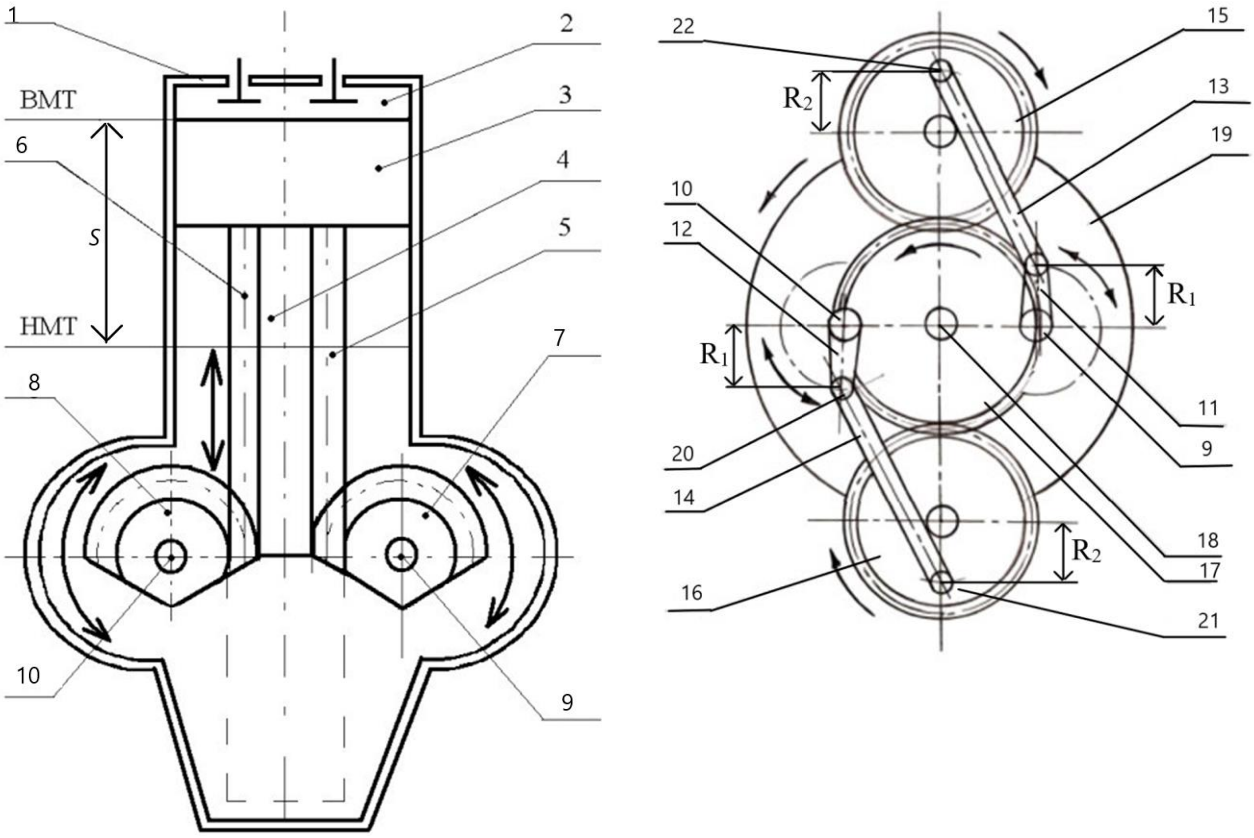
Приравняв, правые части представленных формул и проведя преобразования, получаем

$$\beta = 180 \cdot R2 / R1 .$$

Максимальное значение угла β не может быть более 180°, т. е. должны выполняться условия: $\beta \leqslant 180°$; $R1 \geqslant R2$.

Кривошипы 11 и 12 соединены жёсткими первичными валами 9 и 10 с зубчатыми секторами 7 и 8, поэтому угловые перемещения данных звеньев равны между собой. Длина рабочей части зубчатых секторов 7 и 8 должны соответствовать ходу поршня, то - есть величина хода поршня S и радиусы делительных окружностей d зубчатых секторов 7 и 8 связаны между собой зависимостью

$$S = \pi \cdot d \cdot \beta / 360, \text{ откуда следует } d = 360 \cdot S / \pi \cdot \beta.$$



а) б)

Рис. 1 - Схема бесшатунного поршневого двигателя внутреннего сгорания:
а - схема цилиндро – поршневой группы;
б - схема механизма, устанавливаемого со стороны выходного вала ДВС и преобразующего колебательные движения валов во вращательное выходного вала:
1 – корпус; 2 – цилиндр; 3 – поршень; 4 –шток; 5, 6 - зубчатые рейки; 7, 8 - зубчатые сектора; 9, 10 – первичные валы; 11, 12 – кривошипы; 13, 14 - шарнирные рычаги; 15, 16 – промежуточные шестерни; 17- центральная шестерня, 18 - выходной вал двигателя; 19, 20 – шарниры, соединяющие шарнирные рычаги с кривошипами; 21, 22 - шарниры, соединяющие шарнирные рычаги с промежуточными шестернями; R1 - радиус расположения шарнира шарнирного рычага на кривошипе; R2 – радиус расположения шарнира шарнирного рычага на промежуточной шестерне.

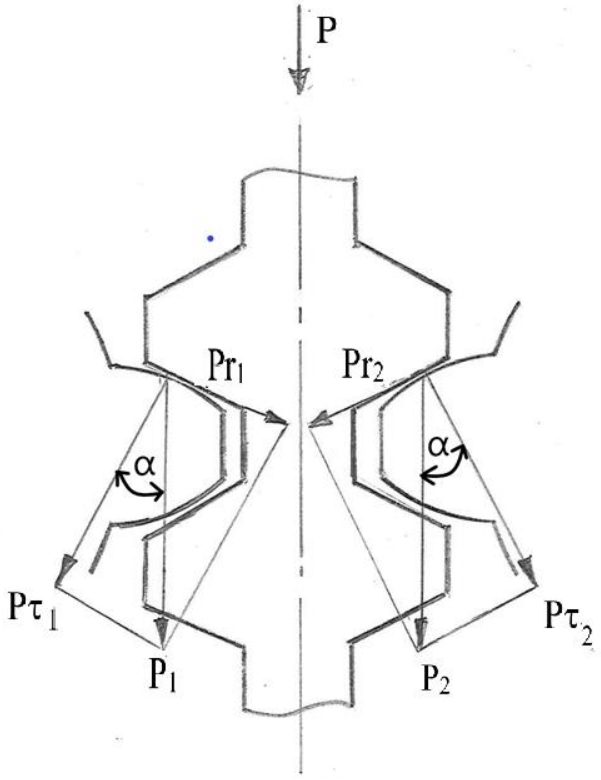


Рис. 2 – Схема сил, действующих в зацеплениях зубьев зубчатых реек и зубьев зубчатых секторов

Список литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование: Учебник для ВУЗов/ В.Н. Луканин, А.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др.; Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. - 400 с.

2. Патент РФ № 2638700 / Горгоц К.Г., Горгоц О.В. Бесшатунный поршневой двигатель внутреннего сгорания. МПК F02B 75/40. 2016.

05.13.06

А.В. Жданов канд. техн. наук, А.Н. Митрофанов, А.А. Хомяков,
А.В. Степанова, С.А. Ланшаков

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Институт машиностроения и автомобильного транспорта,
кафедра технология машиностроения,
Владимир

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗНОПРОФИЛЬНЫХ КУЛАЧКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ

Целью данной работы была конструкторско-технологическая подготовка изготовления кулачков различного профиля с использованием САПР различного уровня. Первоначально в САПР Компас строился профиль кулачка и твердотельная модель, которая конвертировалась в САПР Creo для изготовления деталей на станке с ЧПУ.

Ключевые слова: *трехмерное моделирование, изготовление, кулачки, САПР, станок с ЧПУ.*

Для подготовки производства сложных и единичных деталей важное значение имеет конструкторско-технологическая подготовка, включающая в себя создание и оценку точности трехмерных моделей в CAD-модулях, конвертирование в форматы для CAM-модулей и подготовку управляющих программ [1-3]. Для многих предприятий актуальным становится вопрос использования систем САПР различного уровня на разных этапах подготовки производства. Аналогичная задача решалась в рамках подготовки производства 16 различных кулачков в данной работе.

В начале работы были получены чертежи кулачков с указанием полярных координат точек (ρ, φ) теоретического контура кулачка (траектории хода инструмента) с шагом угла 1º. Алгоритм построения трехмерной модели представлен на рис.1.

Рассмотрим основные этапы данного алгоритма.

1) *Ввод исходных полярных координат* заключается в указании двух значений: длины отрезка и угла наклона отрезка, для каждой точки в виде таблицы

2) *Построение точек по введенным данным* представляет из себя откладывание *i*-го вектора с соответствующей полярной координаты (ρ_i, φ_i) от выбранного центра. Конец вектора и будет является точкой, необходимой для построения теоретического контура

3) *Проверка ошибок* заключается в сравнении координат заданных и построенных точек. Если ошибки отсутствуют, приступаем к следующему этапу; если выявляется ошибка, то возвращаемся ко второму пункту и исправляем несоответствующие точки

4.) *Соединение полученных точек сплайновой линией.* Соединение точек друг за другом с помощью функции сплайна даёт ровную кривую. В местах с одинаковой длиной векторов сплайновую линию можно заменить дугой окружности. Полученные контуры представлены на рис. 2

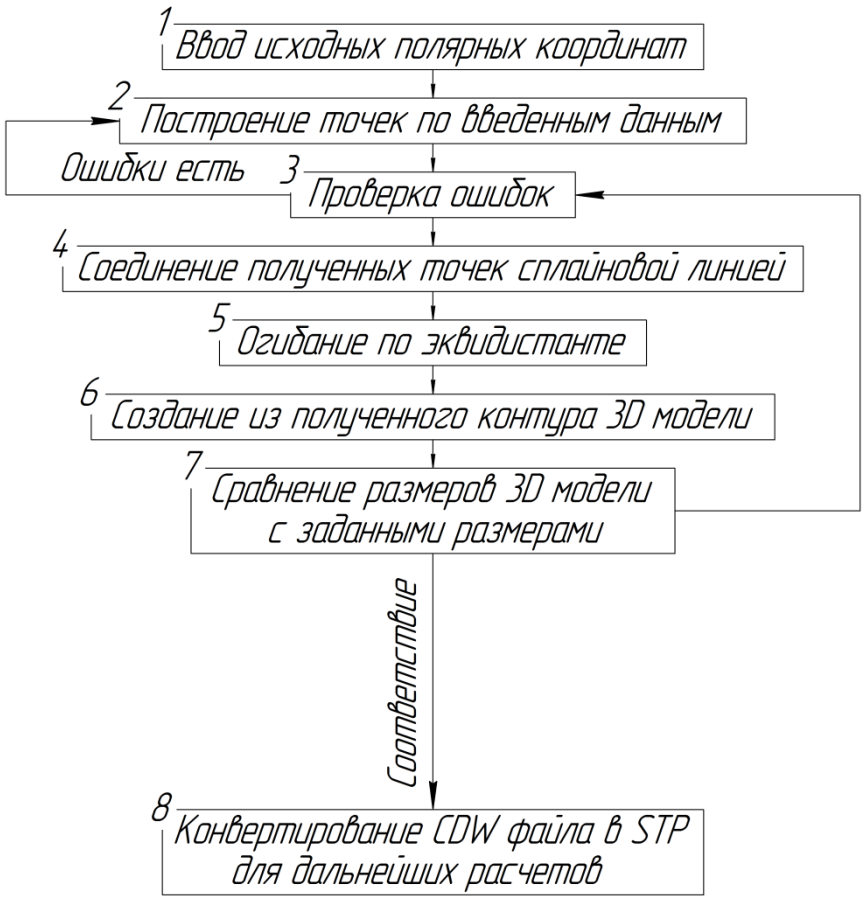


Рис. 1- Алгоритм построения 3D модели кулачка

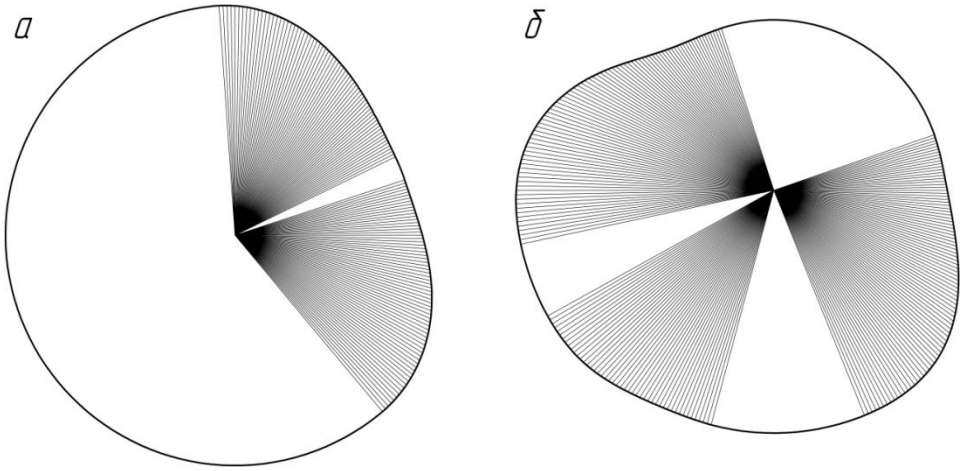


Рис.2 – Теоретический профиль (ход инструмента) кулачков:
а - А3К3.02.03.15.101, б - А3К3.02.03.14.102

5.) *Огибание по эквидистанте.* Поскольку этот контур является траекторией хода инструмента, необходимо по эквидистанте вогнуть этот контур на расстояние, равное половине диаметра обрабатывающего инструмента $\left(\frac{\text{Ø}35}{2}\right)$.

6.) *Создание из полученного контура 3D модели.* После откладывания эквидистанты получается действительный контур детали, который в дальнейшем используется для создания модели, посредством выдавливания и вырезания необходимых нам частей. Резьба ставится условно через специальную функцию, маркировка делается с помощью функции вырезания на какое-либо расстояние, в нашем случает 0,1 мм. Созданные модели показаны на рис. 3.

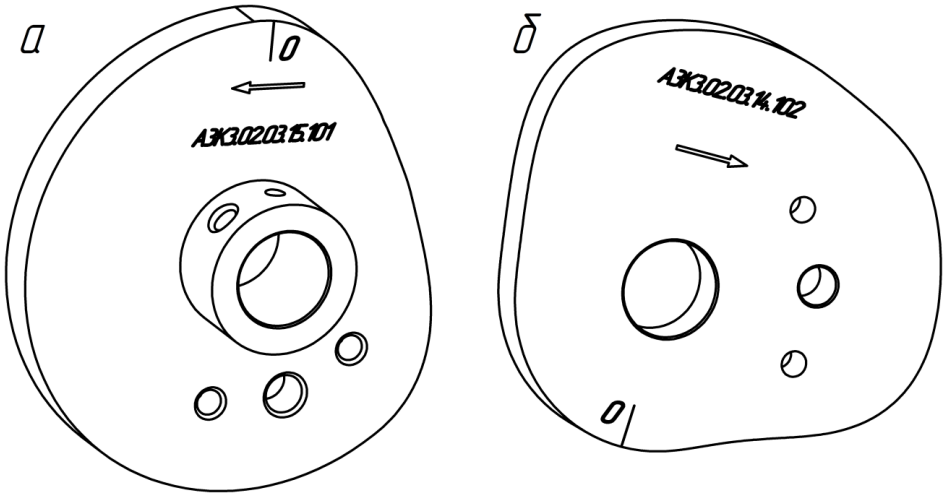
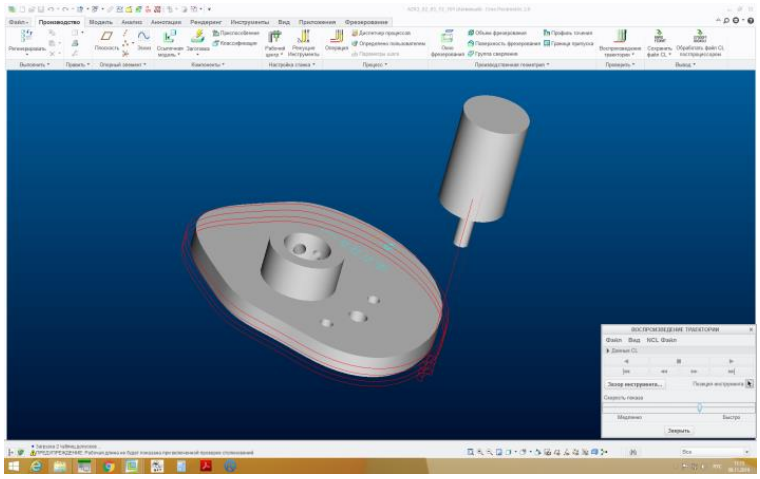


Рис. 3 – Модели кулачков: а - АЗК3.02.03.15.101, б - АЗК3.02.03.14.102

7) *Сравнение размеров 3D-модели с размерами, указанными на чертеже.* На данном этапе проводится заключительная проверка соответствия математической модели изготавливаемому объекту: все дополнительно обозначенные на чертеже размеры кулачка должны совпадать с размерами на построенной модели.

8) *Конвертирование CDW-файла в формат STP для дальнейших расчётов и изготовления.* Этот этап необходим для функционирования построенной модели в CAM и CAE-системах (*Creo, NX, MasterCAM* др.).

Данный алгоритм был реализован в программе *Компас*, а затем твердотельные модели передавались в систему *Creo 2* для моделирования обработки на станке с ЧПУ. На рис.4 представлен интерфейс при обработке кулачка в CAM-системе *Creo 2*, фрагмент программы, а также пример изготовленных деталей



а)

```
%1FR8 G71
; -> CUTTER / 8.000000
N5 G17 S3980 T15
N6 G90 G40
N7 G0 A0. C0.
N8 G0 G80
N9 M91 Z+0 F5000
N10 M91 X+0 Y+0 F5000
N11 M126
N12 M129
N13 ;G62 T0.02 P01 0 P02 5
N14 M3
N15 G1 X0. Y-96.519 Z99. F5555
N16 Z.1
N17 Z-.3 F200
N18 X-9.983 Y-90.26 F950
N19 G2 X.044 Y-80.287 R10.
N20 G3 X6.777 Y-80.013 R77.655
……
```

б)

в)

Рис. 4 – Обработка кулачков в системе Creo 2: Кулачки после изготовления на станке с ЧПУ: а – интерфейс обработки, б – фрагмент программы, в – изготовленные кулачки

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-20-03084офи_м_РЖД, 9.11716.2018/11.12

Список литературы

1. Конструирование изделий в системе Pro/ENGINEER WildFire 4 под ред. В. В. Морозова.— Владимир : (ВлГУ), 2012 .— 138 с. :.— ISBN 978-5-9984-0206-7.

2. Основы технологий информационной поддержки изделий машиностроения: учебное пособие для вузов / В. В. Морозов [и др.] Владимир : ВлГУ, 2009 .— 251 с.

3. *Жуков И.О., Иванченко А.Б., Жданов А.В.* Особенности 3D - моделирования роликовинтовых механизмов/ Научно-технический вестник Поволжья, 2014, №4, стр.100-103 ISSN: 2079-5920

05.13.06

А.В. Жданов канд. техн. наук, А.Н. Митрофанов, А.В. Черкасова

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

АНАЛИЗ ЖЁСТКОСТИ И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ РВМ

В работе производится теоретический анализ жёсткости и осевой нагрузки роликовинтовых механизмов, которые меняются во времени из-за изменения числа зацеплений между резьбой на винте-ролике и ролике-гайке. Данная зависимость будет нелинейной из-за непостоянного количества витков в сопряжениях в каждый момент времени.

Ключевые слова: *роликовинтовые механизмы (РВМ), жёсткость, осевая нагрузка, теоретический расчёт.*

При использовании РВМ важно учитывать осевую нагрузку, которой подвергается устройство. Поскольку замерять максимальное усилие, которое может выдержать РВМ, экспериментальным путем не рационально из-за стоимости производства РВМ, эффективнее воспользоваться математической моделью, описывающей протекающие процессы.

На первом этапе строились модели в Компас v17, после чего производилась сборка и устанавливались интересующие нас геометрические параметры, а именно зацепление между резьбой на винте-ролике (i_{12}) и ролике-гайке (i_{23}). Поскольку невозможно определить промежуточные положения наглядным образом, предположим, что эти зацепления связаны между собой, и когда имеется максимум зацеплений для тел винт-ролик (i_{12}=30) наблюдается минимум для зацепления ролик-гайка (i_{23}=14) - рис.1(а). На половине оборота ролика будет наблюдаться минимум зацеплений для тел винт-ролик (i_{12}=14) и максимум для зацепления ролик-гайка (i_{23}=20)-рис.1 (б). На втором этапе будем определять жёсткость [1], рассчитав зацепления на промежуточных этапах между минимумами и максимумами-табл. 1.

Таблица 1- взаимосвязь между зацеплениями резьбы на винте-ролике (i_{12}) и ролике-гайке (i_{23})

i_{12}	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
i_{23}	20	19.625	19.25	18.875	18.5	18.125	17.75	17.375	17	16.625	16.25	15.875	15.5	15.125	14.75	14.375	14

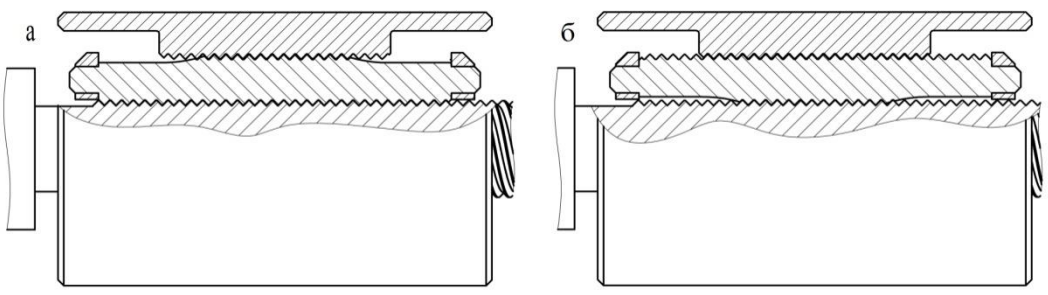


Рис. 1. а- Максимальное зацепление зубьев между винтом и роликом (i_{12}) и минимальное между роликом и гайкой (i_{23}) i_{12max}=30, i_{23min}=14; б- минимальное зацепление зубьев между винтом и роликом (i_{12}) и максимальное между роликом и гайкой (i_{23}) i_{12max}=14, i_{23min}=20

Формула для нахождения жёсткости выглядит следующим образом:

$$c = \frac{c_к \cdot c_т}{c_к + c_т},\ c_т = \frac{165000 \cdot d_г^3 \cdot k_s}{l},\qquad k_s = \frac{k^2}{(k+2)^2},\qquad k = \frac{d_в}{d_р} = 2,$$

где $c_т$ - жёсткость тел, передающих нагрузку через гайку на опору.

Подставляя всё в формулу для жёсткости тел, получаем:

$$c_т = \frac{165000 \cdot 16^3 \cdot \dfrac{2^2}{(2+2)^2}}{93{,}5} = 1.807 \text{ x } 10^6 \text{ Н/мм}$$

где *l*- длина резьбы винта, $c_к$ – жёсткость контакта на резьбе, находящаяся по формуле:

$$c_к = \frac{893 \cdot \sqrt[3]{F} \cdot \sqrt[3]{n_р^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{d_г}{k+2}}}{G_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{2k+1}{k}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{i_{12} \cdot k_{p12}}} + G_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{2k+3}{k+2}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{i_{23} \cdot k_{p23}}}},$$

где $G_1 = \left(\frac{2 \cdot К}{\pi \cdot \mu}\right)_1$, $G_3 = \left(\frac{2 \cdot К}{\pi \cdot \mu}\right)_3$- коэффициенты, зависящие от разности сопряжённых резьбовых поверхностей, k_{p12}=0,3, k_{p12}=0,5 – коэффициенты неравномерности распределения нагрузки по контактам.

Для F=1000 Н проведем расчёты жёсткости в Mathcad (табл. 2).

Таблица 2- Величина контактной жёсткости в зависимости от зацепления

i_{12}	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
i_{23}	20	19.625	19.25	18.875	18.5	18.125	17.75	17.375	17	16.625	16.25	15.875	15.5	15.125	14.75	14.375	14
$c_к$, $\frac{Н}{мм} \cdot 10^4$	7.26	7.452	7.629	7.79	7.937	8.071	8.192	8.301	8.399	8.487	8.563	8.629	8.686	8.733	8.771	8.799	8.818

Подставляя жёсткость тел и контактную жёсткость в формулу усредненной (общей) жёсткости, получим следующие результаты (табл. 3):

Таблица 3 Величина общей жёсткости в зависимости от зацепления

i_{12}	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
i_{23}	20	19.625	19.25	18.875	18.5	18.125	17.75	17.375	17	16.625	16.25	15.875	15.5	15.125	14.75	14.375	14
c, $\frac{Н}{мм} \cdot 10^4$	6.98	7.157	7.32	7.468	7.603	7.726	7.837	7.937	8.026	8.106	8.176	8.236	8.288	8.33	8.365	8.39	8.408

График контактной и общей жёсткости представлен на рис. 2.

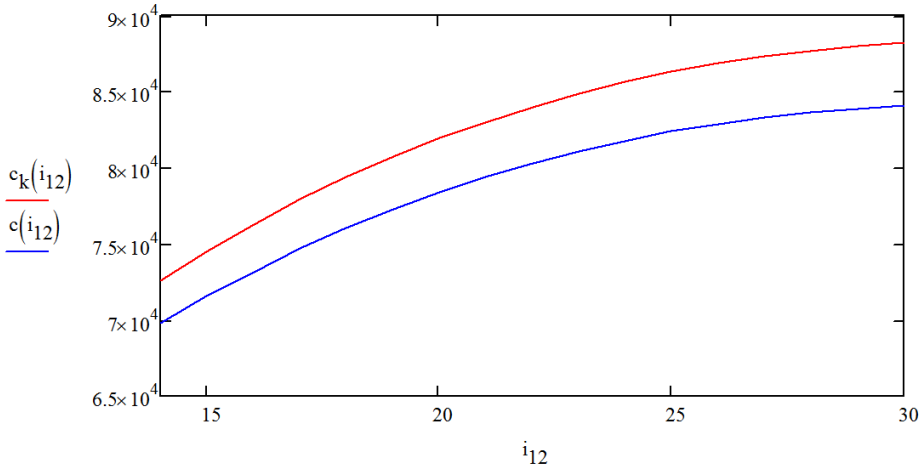


Рис. 2- Графики зависимости контактной и общей жёсткости от зацепления

На третьем этапе было найдено перемещение гайки относительно винта за один оборот [2, 3]. Принимаем следующие допущения: угловая скорость вращения винта и гайки ($\omega_в = 2 \cdot \pi$ рад $\cdot c^{-1}$, $\omega_г = 0$), делительные диаметры винта, ролика и гайки ($d_в$=8 мм, $d_р$=4 мм, $d_г$=16 мм), заходы ролика, винта и гайки; ($n_в$=4, $n_р$=1, $n_г$=4) - все они правые, поэтому положительные. Определим параметры резьбы, учитывая шаг (t=1 мм). Эти параметры будут характеризовать относительное перемещение тел по резьбе за один оборот вокруг своей оси: $P_в = \frac{t \cdot n_в}{2 \cdot \pi} = \frac{1 \cdot 4}{2 \cdot 3{,}14} = 0{,}637$, $P_р = \frac{t \cdot n_р}{2 \cdot \pi} = \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot 3{,}14} = 0{,}159$,

$P_г = \frac{t \cdot n_г}{2 \cdot \pi} = \frac{1 \cdot 4}{2 \cdot 3{,}14} = 0{,}637$

Для того, чтобы определить угловые скорости каждого звена, составим схему и на ней укажем необходимые линейные и угловые скорости (рис.3).

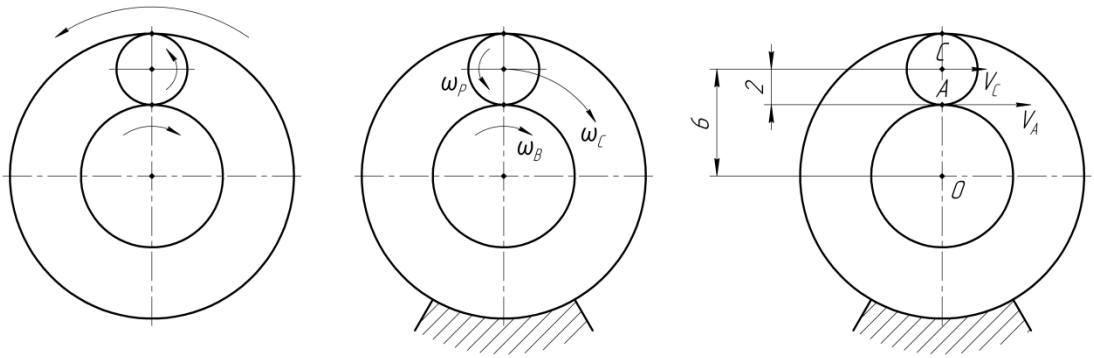


Рис. 3. Кинематика РВМ

Скорость точки А найдём как:

$V_A = \omega_в \cdot r_в = 25{,}133$ м/с , $V_C = \frac{V_A}{2} = 12{,}566$ м/с

Угловая скорость движения ролика с центром в точке С вокруг оси винта будет находиться через формулу: $\omega_с = \frac{V_c}{r_в + r_с} = 2{,}094\ c^{-1}$.

Теперь найдём обращённые скорости каждого звена:

$\omega_{во} = \omega_в - \omega_с = 4{,}189\ c^{-1}$, $\omega_{ро} = \frac{\omega_{во} \cdot r_в}{r_р} = -8{,}378\ c^{-1}$, $\omega_{го} = \omega_г - \omega_с = -2{,}094\ c^{-1}$

Чтобы найти скорость контакта точек по деталям, направим угловые обращённые скорости в обратную сторону и получим: $\omega_{тв} = -\omega_{во} = -4{,}189\ c^{-1}$ -перемещения точек по винту со стороны ролика, $\omega_{тр} = -\omega_{ро} = 8{,}378\ c^{-1}$ -перемещение точек по ролику со стороны винта и гайки, $\omega_{тг} = -\omega_{го} = 2{,}094\ c^{-1}$ -перемещение точек по гайке со стороны ролика.

После этого можем определить скорости перемещения деталей относительно друг друга: $V_{рв} = P_в \cdot \omega_{тв} - P_{р \cdot \omega_{тр}} = -4$ мм/с – осевая скорость ролика относительно винта, $V_{гр} = P_р \cdot \omega_{тр} - P_{г \cdot \omega_{тг}} = 0$ - осевая скорость гайки относительно ролика. Таким образом получается, что суммарная осевая скорость V=−4 мм/с при угловой скорости $\omega_в = 2 \cdot \pi \, c^{-1}$. Чтобы рассчитать зависимость нагрузки от времени, необходимо связать время и число зацеплений между деталями следующим образом:

$$i_{12} = 30 - 16 \cdot \left| \sin\left(\frac{9 \cdot \omega_{тр} \cdot t}{2}\right) \right|$$

Таким образом, приняв угловую скорость точек на ролике $\omega_{тр} = 2 \cdot \pi$ и времени вращения t=1 с, мы получим 9 случаев минимального зацепления (что соответствует ямам на профиле ролика) и 9 случаев максимального зацепления (что соответствует выступам зубьев на профиле ролика). Амплитуда жёсткости не меняется, но в зависимости от угловой скорости винта, будет меняться частота её изменения. Так, при уменьшении угловой скорости до π рад/с, частота уменьшится в два раза. На нашем механизме $\omega_{тр} \neq 2 \cdot \pi$, с помощью программы Mathcad посчитаем осевое усилие: $P = c \cdot S$. Осевое усилие будет являться функцией, зависящей от общей жёсткости и примет вид (рис.4):

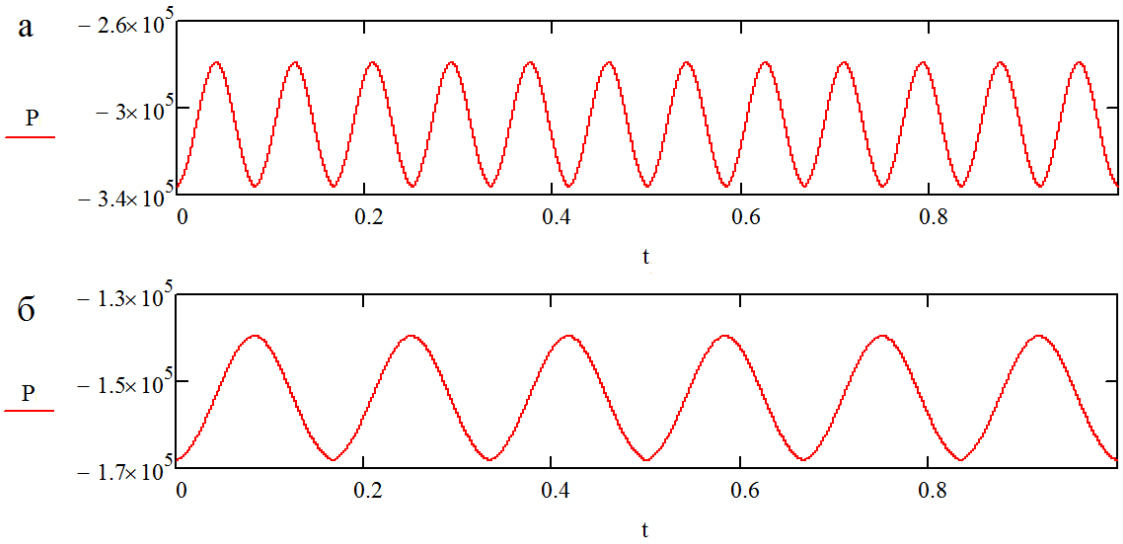


Рис. 4- а. Осевое усилие при $\omega_в = 2 \cdot \pi$ рад $\cdot \, c^{-1}$ на участке 0…1 секунд б. Осевое усилие при $\omega_в = \pi$ рад $\cdot \, c^{-1}$ на участке 0…1 секунд

В отличие от жёсткости, осевое усилие при изменении угловой скорости винта будет менять не только частоту своего изменения, но и величину. Вклад в это вносит перемещение гайки относительно винта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-20-03084офи_м_РЖД, 9.11716.2018/11.12

Список литературы

1. *Жданов А.В., и др.* Определение напряжений и деформаций в контакте звеньев РВМ методом конечных элементов// НТВП, №12, 2018, С.75-78
2. *Бушенин Д.В., др.* Проектирование ВМ / Владимир 1982, С. 26-29
3. *Морозов, В.В., Жданов, А.В.* РВМ. Надежность и долговечность: монография [текст] - М.: Изд-во Перо, 2015. – 152 стр.

05.13.06

В.Г. Зарубский канд. техн. наук

ФКОУ ВО Пермский институт ФСИН России,
кафедра режима и охраны в уголовно-исполнительной системе,
Пермь, volen3030@rambler.ru

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО УСТОЙЧИВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЬЮТЕРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АРХИТЕКТУРЫ

Повышение надежности автоматизированных систем управления, а следовательно и повышение надежности управляющего компьютера, как «интеллектуального» центра любой современной системы управления, предлагается осуществлять в рамках теории структурной устойчивости. Данная теория предполагает ряд этапов восстановления работоспособности управляющего компьютера (функциональное диагностирование, функциональную адаптацию и алгоритмическую адаптацию). В статье представлен обобщенный анализ возможности применения данных этапов адаптации структурно-устойчивого управляющего компьютера к различным уровням архитектуры современных ЭВМ.

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, надежность, структурная устойчивость, адаптация, управляющий компьютер.*

Автоматизированные системы управления находят самое широкое распространение в различных отраслях деятельности человека, в том числе и в отраслях связанных с повышенной опасностью, отказы системы управления в которых могут иметь катастрофические последствия.

Основой современных систем управления является управляющий компьютер (УК), соответственно отказы, возникающие в нем, приведут к отказам всей системы управления в целом. В связи с этим не вызывает сомнения актуальность разработки и внедрения в качестве УК, компьютеров повышенной надежности.

Возможным решением вопроса разработки компьютера повышенной надежности может послужить практическая реализация теории структурной устойчивости, то есть свойства объекта как логической системы оставаться в семействе логических систем, способных функционировать с допустимым качеством в условиях воздействия неблагоприятных факторов [1]. Данная теория основывается на способности объекта, в данном случае УК, восстанавливать свою работоспособность за счет эмуляционных процессов осуществляемых на условиях присутствия в любом современном компьютере свойства функциональной избыточности. Функциональная система, то есть множество всех функций системы (компьютера), в которой для любого вычислимого функционального соответствия существует хотя бы одна вычисляющая его композиция, составленная из элементов этой системы, будет считаться функционально-избыточной, если для любого функционального соответствия из существования вычисляющей его композиции следует существование другой вычисляющей его композиции.

Основываясь на ранее проведенных исследованиях можно сделать вывод, что создание УК обладающего свойствами структурной устойчивости возможно в случае решения двух задач: задачи функционального диагностирования [2] и задачи функциональной адаптации [3]. Однако решение данных задач не позволяет говорить о полном восстановлении работоспособности УК, и следовательно возникает необходимость решения ещё одной задачи – задачи алгоритмической адаптации, предполагающая корректное определение наилучшего варианта предоставления УК системе управления пользовательских услуг, доступных в новых условиях.

Современные УК отличаются существенной сложностью, которая проявляется в их иерархичности (многоуровневости). В связи с этим в таких УК отказы могут проявляться на всех функциональных уровнях архитектуры [4]. Проведенные ранее исследования доказывают существование структурной устойчивости на всех этих уровнях и показывают механизмы ее достижения. Так в работах Тюрина С.Ф. [5, 6] разработана методика достижения СтУ на аппаратном уровне путем введения функционально-полных толерантных элементов, Белякова А.Ю. [7] на макрокомандном уровне.

На уровне аппаратурного базиса архитектуры эмуляционные процессы предполагают полное восстановление системы команд, как функциональной системы, путем перебора конечного числа вариантов перестройки логических схем функциональных узлов. Поэтому этап функционального диагностирования строится на базе штатной программы самопроверки, то есть без использования соответствующей разработанной методики для командного уровня архитектуры.

Аналогичная ситуация складывается и для этапа функционального диагностирования. Восстановленное функциональное состояние отличается от штатного только характеристиками быстродействия, поэтому для этапа алгоритмической адаптации в полном объеме может быть использована методика командного уровня, включая разработку контрольного алгоритма.

При разработке процессов адаптации для микропрограммного уровня архитектуры на этапах функционального диагностирования и функциональной адаптации могут быть использованы соответствующие алгоритмы, построенные для командного уровня, поскольку известно, что программное решение принципиально реализуется микропрограммными средствами. Методика алгоритмической адаптации переносится на этот уровень архитектуры практически без изменений.

Для макрокомандного уровня архитектуры актуальность идентификации текущего функционального состояния сохраняется, что может быть решено в полно соответствии с предложенной методикой функционального диагностирования. Обеспечение остальных этапов адаптации УК будут отличаться лишь модернизацией соответствующей таблицы и соответствующего контрольного алгоритма, в категориях макрокоманд, как основного инструмента настройки интерпретатора.

Ориентировочные результаты анализа распространимости разработанной методики адаптации структурно устойчивой УК к текущему функциональному состоянию представлены таблицей 1 и подтверждают правильность выбора командного уровня архитектуры в качестве базового.

Таблица 1 – Распространимость методики адаптации УК к текущему функциональному состоянию

	Аппаратный базис	Микропрограммный уровень	Макрокомандный уровень
Методика функционального диагностирования	–	50%	100%
Методика функциональной адаптации	–	50%	90%
Методика алгоритмической адаптации	100%	100%	90%

В таблицу 1 не включен уровень комплексирования архитектуры УК, как уже изученный в этом отношении к моменту проводимого в данной работе исследования [8], а также уровень супервизирования, поскольку он предполагает недостаточно изученное к настоящему моменту комплексирование эмуляционных процессов на нескольких уровнях архитектуры.

Разработанная методика адаптации структурно устойчивой УК к текущему функциональному состоянию системы команд содержит в себе все необходимые компоненты которые принципиально могут быть адаптированы с различной степенью трудоемкости к конкретным обстоятельствам других уровней архитектуры. При этом в наибольшей степени модификации может быть подвергнут участок функционального диагностирования, в меньшей степени этап функциональной адаптации и практически без изменений участок алгоритмической адаптации.

Вопросы разработки алгоритмов адаптации УК к текущему функциональному состоянию, в перспективе комплексирующих эмуляционные процессы нескольких уровней архитектуры, в виду недостаточной научной проработки методики комплексирования на современном этапе ограничились рассмотрением основных принципов их разрешения: совмещения «ядер» по функциональному и по тестовому признакам. По мере развития данной проблематики результаты научных исследований могут быть в необходимой степени углублены, опираясь на основные положения настоящего исследования.

Список литературы

1. *Харитонов В.А.* Основы теории живучести функционально-избыточных систем. С.-Пб.: СПИИРАН, 1993. – 60 с.
2. *Зарубский В.Г.* Особенности организации процесса функционального диагностирования управляющего компьютера повышенной живучести. Надежность. №3/2016. – С. 35-38.
3. *Зарубский В.Г., Рыбаков А.П.* Математическая модель процесса адаптации управляющего компьютера интегрированной системы охраны к текущему функциональному состоянию. Вестник Воронежского института МВД России. № 1/ 2012. С. 170-178.
4. *Зарубский В.Г.* Пути сокращения времени адаптации структурно-устойчивой управляющей ЭВМ к текущему функциональному состоянию на основе распараллеливания алгоритма адаптации. Научно-технический вестник Поволжья. № 6/2016. С. 134-137.
5. *Тюрин С.Ф.* Скользящее резервирование толерантных элементов. Надежность. 2017. Т. 17. № 1 (60). С. 17-21.
6. *Тюрин С.Ф.* Функционально полные толерантные элементы ПЛИС FPGA для аэрокосмических вычислительных комплексов. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2016. Т. 17. № 2. С. 490-497.
7. *Беляков А.Ю., Харитонов В.А. и др.* Формальная система в задаче синтеза средств организации эмуляционных процессов в управляющих вычислительных системах с адаптивными интерпретаторами. Сборник научных трудов ГосНИИУМС. Вып. 47. – Пермь, 1998. С. 131-141.
8. *Олейников А.В., Харитонов В.А.* Отказоустойчивая трансляция в динамических интерпретаторах управляющих программных комплексов. Моделирование вычислительных систем: межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: ПГУ, 1991. С. 126-132.

05.13.06

[1]Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, [1]И.В. Гоголева канд. педагог. наук,
[1]Д.М. Ноев, [2]В.П. Друзьянова д-р техн. наук

[1]Якутская ГСХА,
[2]Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОМБИНИРОВАННОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Главной задачей сельскохозяйственного производства является повышение эффективности всех его отраслей, обеспечение страны продовольствием и сырьём для перерабатывающей промышленности. Решение этих задач возможно только при наличии прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и эффективной техники. Ведущее место здесь принадлежит разработке и внедрению машин с прогрессивными рабочими органами, которые могут обеспечить качественное выполнение технологического процесса при снижении его энергоемкости.В статье рассмотрен процесс взаимодействия рабочих органов с почвой, получены аналитические выражения позволяющие установить зависимость горизонтальной и вертикальной, составляющих силы сопротивления дискового почвообрабатывающего орудия в функциях объёма вырезанного пласта почвы. Конструкция культиватора определяет качество выполняемой им операции и затраты на ее осуществление.

Ключевые слова: *техническое средство, предпосевная обработка, агрегат, рабочие органы, производительность, технологический процесс, точность обработки.*

Республика Саха (Якутия) - крупнейший в территориальном и экономическом отношениях регион Севера России. Площадь республики составляет 3 083,5 тыс. кв. километров, из которых 24 631,1 тыс. га (8%) используются землепользователями, занимающимися сельхозпроизводством. В российской сетке разделения регионов по специфике существования и развитию отраслей народного хозяйства республика отнесена к сельскохозяйственным регионам. Более 35% населения республики проживает в сельской местности и имеет тесную, неразрывную связь с селом и его хозяйством. Развитие агропромышленного комплекса в рыночных условиях невозможно без инновационной сопровождающей и качественного научного обеспечения. Разработка научно обоснованных новых и усовершенствование существующих технологий, внедрение отечественных и зарубежных разработок, создание новых продуктов - необходимые составляющие интеграции АПК Республики Саха (Якутия) с сельским хозяйством ведущих стран мира. Широкомасштабное внедрение отработанных в условиях Якутии наукоемких технологий позволит обеспечить количественный и качественный прорыв в развитии сельского хозяйства республики [1,4]. Многолетняя мерзлота оказывает большое влияние на хозяйственную деятельность человека. Слой сезонного промерзания и протаивания, или деятельный слой, является тем первым от поверхности горизонтом пород, изменение которого, вслед за изменением теплообмена на поверхности, приводит к развитию экологически опасных криогенных процессов. Проблема качественной обработки почвы особенно актуальна для территории с тяжелыми почвами, подверженными криогенным процессам. При их рыхлении возникает тяговое сопротивление рабочим органам почвообрабатывающих машин, усложняется задача обеспечения качественной обработки.

Тяжелая ситуация с расходами на производство и затратами рабочего времени требует машины и орудия с большой производительностью при высоком качестве работы. Точность обработки, а также высокая производительность на единицу площади при низких затратах являются сегодня решающими аргументами в пользу прицепных комбинаций орудий по

предпосевной обработке почвы. Удобнее всего применять комбинированные устройства, то есть агрегаты, которые за один проход выполняют несколько технологических операций. Основные их преимущества: сокращение числа проходов агрегатов по полю и, как следствие, меньшее уплотнение почвы; сокращение сроков проведения технологических операций, уменьшение затрат труда. Комбинированные агрегаты одновременно могут выполнять только те операции, которые можно совмещать во времени без нарушения агротехнических требований по качеству и срокам проведения работ. В целом современные комбинированные машины и агрегаты классифицируют по типу используемых рабочих машин или рабочих органов и по набору выполняемых технологических операций. В таблице 1 представлены типы комбинированных машин и агрегатов.

Таблица 1-Типы комбинированных машин и агрегатов

№ п/п	Типы комбинированных машин и агрегатов
1	агрегаты, составляемые из нескольких рядов простых машин
2	машины с несколькими рядами разнотипных рабочих органов, закрепленных на общей раме
3	машины с комбинированным рабочим органом для одновременного выполнения нескольких операций

Предпосевную культивацию проводят обычно на глубину заделки семян зерновых культур. Неравномерность глубины обработки не должна превышать ±1 см. После культивации верхний слой почвы должен быть мелкокомковатым, а сорные растения полностью подрезаны. Высота гребней обработанного слоя не должна превышать 3…4 см, поэтому одновременно с культивацией проводят боронование. Рабочие органы культиватора не должны выносить на поверхность нижний слой почвы. Сплошную культивацию следует проводить поперек предыдущей обработки или под углом к ней на скорости 9…12 км/ч. С увеличением скорости улучшается выравнивание поверхности поля и создаются хорошие условия для работы посевных машин. На практике повсеместно применяемая обработка культиватором бывает: сплошная, междурядная и специального назначения. Культиватор сплошной обработки отличается от плуга тем, что взрыхляет почвенный пласт, не переворачивая его. Главная задача культиватора любой разновидности – осуществить культивацию. Неглубоко залегающий плотный слой земли перемещается на поверхность и по структуре превращается в мелко комковатый, подъем гребня не превышает 4 см. Слой подвергается рыхлению, крошению и перемешиванию. Одновременно идет выравнивание поверхности поля, почва получает нужное удобрение [2]. Разрыхленный при помощи культиватора пласт решает несколько задач:

- препятствует испарению влаги;
- форсирует попадание тепла в землю;
- обеспечивает оптимальный режим хода микробиологических процессов;
- осуществляет доступ полезных микроэлементов и питательных веществ.

В последние годы значительно снизился уровень механизации работ в растениеводстве, что приводит к несоблюдению сроков проведения сельскохозяйственных операций и требует изыскивать новые пути и резервы повышения производительности машинно-тракторных агрегатов (МТА) и снижения погектарного расхода топлива [1,3]. В технологиях возделывания сельскохозяйственных культур наиболее значимое место принадлежит основной обработке почвы. Причем интенсификация режимов работы почвообрабатывающих машин и агрегатов требует более глубокого изучения закономерностей технологических и энергетических процессов. В результате культивации улучшается воздушный и водный режимы почвы, усиливается деятельность микроорганизмов, обеспечиваются благоприятные условия для прорастания культурных растений, их роста и развития. Кроме этого, такая операция создаёт на поверхности почвы рыхлый слой, препятствующий капиллярному поднятию влаги и её испарению, выравнивает

вспаханную почву является эффективным средством борьбы с сорняками [5]. Таким образом, важнейшим условием развития земледелия является совершенствование средств механизации и повышение эффективности их использования на основе системного анализа совокупности эксплуатационных факторов.

Список литературы:

1. *Зеленин, А.Н.* Физические основы теории резания грунтов: научное издание / А.Н. Зеленин. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950.– 354 с.
2. *Нестяк, В.С.* Деформация почвы плужным дисковым ножом / В.С. Нестяк, И.Д. Кобяков, А.С. Союнов // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – Новосибирск. – Т. 2. – № 23-2. – 2012. – С. 112-115.
3. *Нестяк, В.С.* Тяговое сопротивление дискового лущильника / В.С. Нестяк, И.Д. Кобяков, А.С. Союнов // Тракторы и сельхозмашины. – № 12. – 2012. – С. 32-33.
4. Указ Президента Республики Саха (Якутия) от 07 октября 2011 г. № 934 «О государственной программе Республики Саха (Якутия) «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2012-2020 годы»
5. *Щукин, С.Г.* Машины для возделывания сельскохозяйственных культур. / С.Г. Щукин, В.А. Головатюк, В.Г. Луцик, В.П. Демидов. — Электрон.дан. — Новосибирск : НГАУ, 2011. — 125 с.

05.13.06

Г.Е. Кокиева д-р техн. наук, С.А. Ягловский канд. ветеринар. наук,
Ч.Г. Машиев канд. педагог. наук, Д.М. Ноев, Е.И. Кондакова

Якутская ГСХА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ВСКАРМЛИВАНИЯ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ

Северные олени в пределах ареала обитания круглогодично кормятся на естественных кормовых угодьях. Важнейшая видовая адаптация у северных оленей - приспособленность к добыванию и питанию ягелем, позволяет северному оленю существовать в различных условиях тайги, гор и тундры, быстро набирать и дольше сохранять упитанность, получать здоровый приплод, переживать летнюю инсоляцию и нашествие кровососущих насекомых, успешно проводить гон и зимовку. В связи с этим в настоящее время на территории центральной Якутии остро стоит вопрос кормления северных оленей. Представлены эффективные автоматизированные технологии приготовления кормовых добавок, обеспечивающие повышение физиологической активности северных оленей.

Ключевые слова: *северные олени,кормоприготовление, кормление, автоматизация, управление, кормовые добавки, эффективность, физиологическая активность.*

Оленеводство является базовой отраслью в традиционном хозяйстве Севера, видом занятости и источником дохода народов Арктики. Производство оленьего мяса значительно укрепляет продовольственную базу, продукция широко используется в местном производстве. Посредством простейших зоотехнических приемов оленеводческие народы создавали особенности животных, соответствующие их образу жизни и природно-климатическим условиям. Каждый народ отбирал и оставлял на племя оленей, хорошо приспособленных к местным условиям. Многолетние исследования установили, что в кормовой рацион оленей входит до 50 видов лишайников, что составляет 70% потребляемых кормов. В зимнее время олени не могут обеспечить себя полноценным питанием, в связи с этим есть необходимость в обеспеченности дополнительными кормами. Большие успехи достигнуты в ходе экспериментальных исследований в области получения кормового белка в процессе микробного синтеза. Данное направление микробного синтеза получило название производства одноклеточного белка, так как большая часть микроорганизмов, которые используются для данных целей, растут не как сложные многоклеточные организмы (растения или животные).

При производстве кормов увеличивается возможность более точного регулирования их состава. Также снижается риск приобретения некачественной или фальсифицированной продукции.

На рис.1 представлена технология получения белково-витаминного концентрата для вскармливания северным оленям. Питательной средой для получения кормовых дрожжей служат ягель и лишайники, которые очень распространены на территории Центральной Якутии. Посевным материалом служит штамм SacharomycesViniMuscat. Сырье измельчается до кашеобразного состояния, добавляется вода в соотношении 1:2. Далее все подвергается термообработке. На втором этапе добавляется стерилизованная выжимка из почек и дрожжевойлизат с йодом. Подготовленная культуральная жидкость поступает в ферментатор, где происходит микробный синтез.

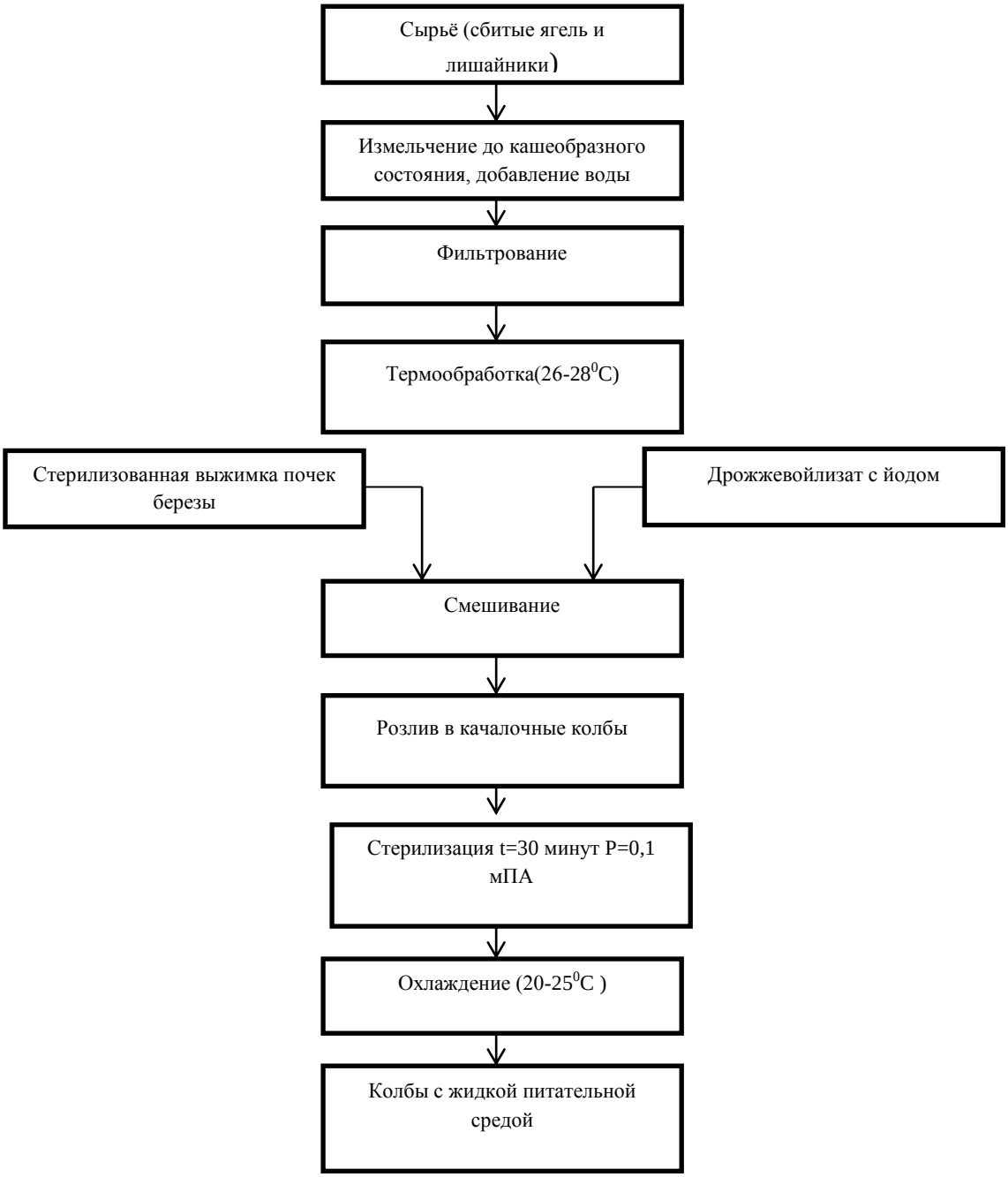


Рис. 1-Технологическая схема получения белково-витаминного концентрата

Таким образом, питательная среда для культивирования белково-витаминного концентрата, содержащая сок из ягеля и лишайника, добавкой выжимки почек обогащает белково-витаминный концентрат комплексом витаминов, пектинов, биологически активными веществами, что улучшает качество готового продукта, придает ему лечебно-профилактические свойства[2-4].

Большой интерес представляет разработка математических моделей для эксергетического анализа кормовых смесей и их отдельных компонентов.

Современные условия рыночных отношений (штрафы за превышение допустимых норм количества отходов постоянно повышаются, как и цена корма) подталкивают производителей к переработке и использованию отходов производства[1].

Автоматизированное устройство экономически оптимального управления цехом переработки [5]работает следующим образом. Вычислительный блок по данным измерений и задания параметров, микроклимата, оборудования и формирования искусственной величины управляемого параметра расхода ингридиентов рассчитывает целевую функцию

оптимизации прироста прибыли производства[5]. Схема автоматизированного управления процессом формирования состава и количества ингридиентов, учитывающая энергию, идущую исключительно на создание конечного продукта (белково-витаминный концентрат) представлена на рис. 2.

Рис. 2- Управление процесса формирования количества и состава кормов

Автоматизация технологических процессов является одним из ключевых звеньев в общей системе функционирования и развития любого современного предприятия. Поэтому научное обоснование применения, определение численных значений энергетического и эксергетического критериев эффективности преобразования энергии корма в продукцию и их практическое использование при автоматизации экономически эффективных технологий кормоприготовления и кормления северных оленей является актуальной научно-технической задачей. Ее решение способствует осуществления точных технологий АПК на территории Центральной Якутии.

Список литературы

1. *Артюшин, А.А.* Биотехническое начало высокоэффективных («точных») технологий животноводства / А.А.Артюшин, И.И.Свентицкий, А.В.Дубровин // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 5-й Международной научно-технической конференции. Ч. 3. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.
2. *Кокиева Г.Е.* Интенсивность процесса микробного синтеза при заквашивании кормов / Г.Е. Кокиева, А.И. Павлова, М.И.Черкашина // Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 1. – с. 198-202.
3. *Кокиева, Г.Е.* Исследование зависимости роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 31-33.
4. *Кокиева, Г.Е.* Роль кислорода при моделировании аппарата для культивирования микроорганизмов / Г. Е. Кокиева, И. Б. Шагдыров, Ю. А. Шапошников // Ползуновский вестник. – 2016. – № 3. – С.151-155.
5. *Литовский, Е.И.* Потоки энергии и эксергии. – М.: Наука, 1988. – 144 с.

05.13.06

А.Р. Минулина канд. техн. наук, Т.Г. Макарова

Альметьевский государственный нефтяной институт,
Кафедра нефтегазового оборудования и технологии машиностроения,
Альметьевск, tngm417@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯМИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НОВЫМИ МЕТОДАМИ

В работе рассмотрены новые подходы предполагающие создание изделий путем постепенного добавления материала, который может быть одинаковым или различным. В статье рассматриваются методы аддитивных технологий, их положительные и отрицательные стороны. Несмотря на выявленные проблемы у аддитивного производства есть ниша, в которой оно успешно развивается: производство единичных изделий и мелких партий уникальных деталей из дорогих материалов и в тех случаях, когда стоимость станочной обработки высока. Одна из сильных сторон аддитивного производства — штучное изготовление изделия любой формы.

Ключевые слова: *моделирование, аддитивные технологии, методы, прототипирование, послойное формообразование.*

Ремонт и обслуживание нефтегазового оборудования является важной задачей, требующей значительных финансовых затрат и времени. Ремонт и изготовление изделий с помощью новых технологий начинают применяться и в нефтегазовой отрасли. Для восстановления изношенных деталей в сервисных предприятиях применяют различные способы: сварку и наплавку, газотермические методы напыления, гальваническое наращивание, пластическую деформацию и др.

Новые подходы предполагает создание изделия путем постепенного добавления материала, который может быть одинаковым или различным. Аддитивные технологии решают сразу две задачи: формообразования и контроля состава материала в рамках одного процесса. Преимуществом этого подхода, является то, что теоретически может быть получено любое трехмерное изделие без использования инструментов заданной формы.

Все существующее оборудование для аддитивного производства в настоящее время использует послойный подход. Отличие заключается в материалах, которые они могут использовать, в технике создания слоев и способах связывания слоев между собой. Эти различия определяют точность детали, состав материала и механические свойства, а также скорость изготовления и размеры.

В зависимости от состояния материала процессы аддитивного производства классифицируют на жидкостные, твердотельные процессы и процессы, использующие порошковые материалы. По способу нанесения материала - на струйные и лазерные способы.

Аддитивные технологии прямого изготовления изделий из металлов и сплавов разделяют на две группы: Powder Bed Fusion (PBF) (рисунок 1а) и Directed Energy Deposition (DED) (рисунок 1б).

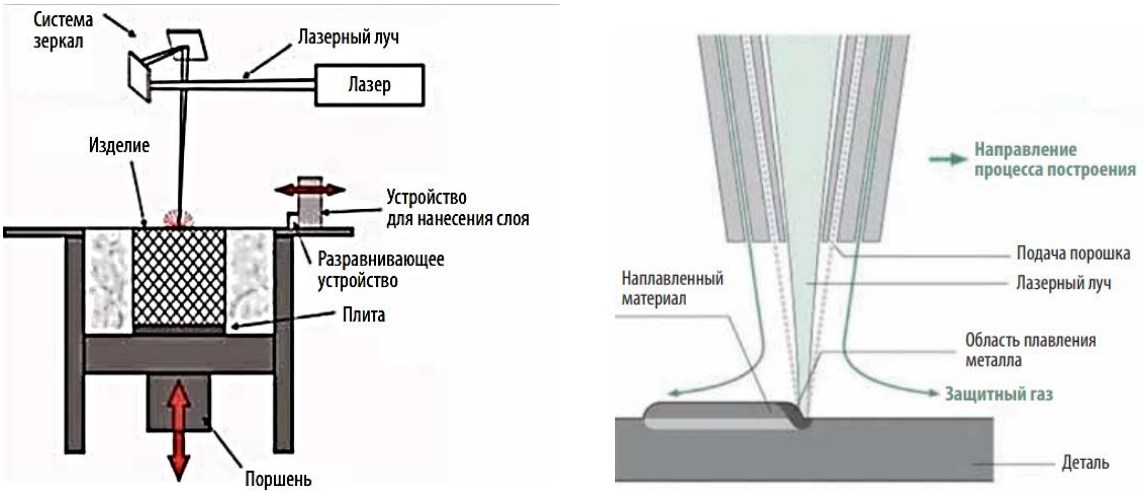


Рис. 1 – а) работа по принципу PBF-технологии;
б) схема образования слоя по DED-технологии

Сущность данной технологии - подача металлического порошка в оплавляемую область заготовки.

Основные операции: с помощью программного обеспечения создаются оптимальные траектории движения напыляющей головки для получения детали; подбираются параметры лазерного излучения и подачи порошкового материала; напыляющая головка перемещается в точку начала напыления; подача порошка начинается через форсунки, которые создают поток порошка, сходящийся в некоторой точке, отдаленной от головки; из центра головки исходит лазерное излучение, проходящее через точку схождения потоков металлического порошка; лазерный луч расплавляет поверхность подложки, на которую происходит напыление, образуя небольшую ванну расплава; порошок, доставляемый в эту область, попадает в жидкий металл; после затвердевания ванны расплава образуется дорожка нанесенного металла.

Управление параметрами наносимой дорожки может производиться как вручную, так и через данные САПР-системы. Напыление, как правило, происходит в инертной атмосфере аргона, в которой контролируется содержание кислорода.

Этот метод позволяет изготавливать изделия с особой микроструктурой, образующейся благодаря высоким скоростям затвердевания металла.

Внедрение на предприятиях современного оборудования, позволяющего производить детали с использованием аддитивных технологий, связано с использованием высококачественных металлических порошков. В разных машинах используют порошки различного фракционного состава. Одним из параметров, характеризующих порошок, является средний диаметр частиц – d50. Чем меньше величина d50, тем меньше может быть задан шаг построения, более рельефно могут быть проработаны мелкие элементы детали и более гладкую поверхность можно получить у построенной детали. Но если порошок имеет слишком малый размер частиц, то в процессе построения легкие частицы будут «вылетать» из зоны расплава, что приведет к повышенной шероховатости детали и микропористости.

Общим требованием к порошкам для аддитивных технологий является сферическая форма частиц и высокая однородность гранулометрического состава. Свойства порошков зависят от способа их получения. Порошки одного и того же материала, полученные разными способами могут резко отличаться по свойствам.

В качестве исходного материала также можно использовать проволоку. При этом коэффициент использования материала (КИМ) – до 100 %, поэтому данная технология – более экологична.

В таблице 1 представлены типовые процессы аддитивного производства, использующие в качестве исходных материалов порошок и проволоку.

Таблица 1. Сравнение типовых процессов

Материал	**Процесс**	**Толщина слоя, мкм**	**Производительность, г/мин**	**Размерная точность (мм)**	**Шероховатость поверхности (мкм)**
Порошок	LC	N/A	1-30	±0,025-±0,069	1-2
	SLM	20-100	N/A	±0,04	9-10
	SLS	75	~0.1	±0,05	14-16
	DLF	200	10	±0,13	~20
Проволока	WAAM	~1500	12	±0,2	200
	EBF3	N/A	До 330	низкая	высокая

Подводя итог по основным аддитивным технологиям, можно сделать вывод, эти технологии позволяют изготавливать изделия с особой микроструктурой, образующейся благодаря высоким скоростям затвердевания металла. Материалы, полученные с помощью газопорошковой наплавки, обладают высокими механическими свойствами. Технологии, использующие непосредственную подачу исходного материала в область расплава заготовки, применяются как для создания новых изделий, так и для ремонта уже существующих. В отличие от технологий, предусматривающих выращивание изделия в толще порошка, такие технологии обладают большей производительностью, позволяют получать функционально-градиентные изделия, но имеют ограничения при изготовлении тонких стенок и сложности геометрии изделий. Также качество поверхности у технологий с непосредственной подачей материала оказывается ниже.

В настоящее время доля России на мировом рынке АТ невелика.

Однако динамика развития и актуальность таких технологий позволяют прогнозировать существенный рост их применения в нефтегазовой промышленности.

Список литературы

1. *Каменев, С.В.* Технологии аддитивного производства [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Каменев, К. С. Романенко. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 145 с. — 978-5-7410-1696

2. *Макарова Т.Г., Бикбулатова Г.И.* Перспективы внедрения аддитивных технологий в нефтегазовую отрасль. В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 248-251.

3. *Зленко М., Попович А.А., Мутылина И.Н.* Аддитивные технологии в машиностроении. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 222 с.

4. ВИАМ [Электронный ресурс]. URL: http://viam.ru/news/1826

5. *Sabina L.* Campanelli et. al, Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting Process. Polytechnic of Bari, Department of Management and Mechanical Engineering, Viale Japigia, 182 Italy. [Электронный ресурс]. URL: http://cdn.intechweb.org/pdfs/12285.pdf.

6. *Yadroitsev I., Smurov I.* Selective laser melting technology: from the single laser melted track stability to 3D parts of complex shape //Physics Procedia. 2010. Vol. 5. P. 551–560.

7. *Averyanova M., Cicala E., Bertrand Ph., Grevey D.* Optimization of Selective Laser Melting technology using design of experiments method // Innovative Developments in Virtual and Physical Prototyping : Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Leiria, Portugal, 28 September — 1 October, 2011. — CRC Press, 2011. P. 459–466.

8. *Holzweissig M. J., Taube A., Brenne F., Schaper M.* Microstructural Characterization and Mechanical Performance of Hot Work Tool Steel Processed by Selective Laser Melting // Metallurgical and Materials Transactions B. 2015. Vol. 46, No. 2. P. 545–549.

9. ASTM F3055. Additive Manufacturing Nickel Alloy (UNS N07718) with Powder Bed Fusion.

05.13.06

А.А. Силаев канд. техн. наук, Е.Ю. Силаева, Е.С. Данилина, Н.С. Савина, В.С. Сапарова

Волжский Политехнический Институт (Филиал)
Волгоградского Государственного Технического Университета,
кафедра «Автоматика, электроника и вычислительная техника»,
aa_silaev@mail.ru

ЦИФРОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Работа посвящена вопросу проектирования цифровых двойников объектов химической промышленности. В работе приведены рекомендации по проектированию системы управления теплообменным аппаратом с применением технологии цифровых двойников. Для теплообменного аппарата разработаны основные схемы для его проектирования и эксплуатации.

Ключевые слова: *цифровой двойник, проектирование системы управления, индустрия 4.0, модель теплообменного аппарата.*

В условиях рыночных отношений, когда требуется получить продукцию требуемого качества при минимальных затратах, да ещё и точно в срок, вопросы автоматизации производства становятся всё более актуальными. Во многих сферах деятельности всё большее значение приобретают роботизация и адаптивные системы[1, 2].

Крупные компании стремятся выиграть конкуренцию за счёт внедрения новых технологий. Одним из показательных примеров является технология Индустрия 4.0[3, 4]. Одним из направлений Индустрии 4.0 является цифровое проектирование – создание цифровых двойников и связь их с реальными технологическими объектами [5, 6].

Стоит отметить, что спрос на подобные системы автоматизации существует, но практическая научная база исследований применения и внедрения цифровых моделей слабо проработана [6].

Цель работы — разработать рекомендации для проектирования системы управления с учётом технологии цифровых дойников.

Во многих исследованиях[8] высказывается мнение, что цифровой двойник — это имитационная модель. Отчасти это утверждение верно. Но всё-таки термин «цифровой двойник» носит более широкий характер. Если обобщить исследования последних лет [5, 6, 6, 8, 9] можно дать следующее определение. Цифровой двойник – это совокупность цифровых моделей, достоверно описывающих реальные объекты и их взаимосвязи как на отдельном объекте так и на всё производстве [2].

Для примера объекта исследования выбран теплообменный аппарат (ТА). Данное оборудование есть практически в каждом химическом производстве. У авторов статьи есть проработанные модели ТА [10, 11].

Первым этапом проектирования системы управления является разработка математической модели объекта. Структурная схема модели ТА, приведённая на рисунке 1, состоит из трех блоков: контур горячей жидкости, система трубок ТА и контур холодной жидкости [10].

Рис. 1. Структурная схема модели ТА,

где: $\Theta_{гк}$, $\Theta_{хк}$, $\Theta_{гн}$, $\Theta_{хн}$ – температуры горячей и холодной жидкости на выходе и входе ТА;

$\Theta_{тр}$ – температура трубной системы в ТА;

$M_г$, $M_х$ – массовые расходы горячей и холодной жидкостей.

Динамическая модель ТА получена в работе [10]:

$$\frac{\partial\Theta}{\partial t} = A\cdot\Theta + B\cdot M_х + G\cdot M_г \quad (1),$$

где: $\Theta = \begin{pmatrix}\Theta_{гк}\\ \Theta_{тр}\\ \Theta_{хк}\end{pmatrix}$, $A = \begin{pmatrix} -\left(\frac{a_г\cdot S_г + M_г\cdot C_г}{m_г\cdot C_г}\right) & \frac{a_г\cdot S_г}{m_г\cdot C_г} & 0\\ \frac{a_г\cdot S_г}{m_{тр}\cdot C_{тр}} & -\left(\frac{a_г\cdot S_г + a_х\cdot S_х}{m_{тр}\cdot C_{тр}}\right) & \frac{a_х\cdot S_х}{m_{тр}\cdot C_{тр}}\\ 0 & \frac{a_х\cdot S_х}{m_х\cdot C_х} & -\left(\frac{a_х\cdot S_х + M_х\cdot C_х}{m_х\cdot C_х}\right)\end{pmatrix}$

$B = \begin{pmatrix}0\\ 0\\ \frac{\Theta_{хн}}{m_х}\end{pmatrix}$, $G = \begin{pmatrix}\frac{\Theta_{гн}}{m_г}\\ 0\\ 0\end{pmatrix}$;

$m_г$, $m_х$, $m_{тр}$ – массы горячей и холодной жидкостей и трубной системы;

$C_г$, $C_х$, $C_{тр}$ – удельные теплоёмкости; $a_г$, $a_х$ – коэффициенты теплоотдачи; $S_г$, $S_х$ – площади поверхности теплообмена.

Решение модели (1) представлено в конечно-разностном виде:

$$\Theta_{t_k} = \Theta_{t_{k-1}} + \Delta t\cdot\left(A\cdot\Theta_{t_{k-1}} + B\cdot M_{х\,t_k} + G\cdot M_{г\,t_k}\right) \quad (2)$$

где: t_k – текущий момент времени; Δt – шаг времени дискретизации.

Разработка автоматической системы управления температурой горячей жидкости представлена в работе [11]. В качестве закона регулирования выбран ПИ-закон регулирования. В качестве критерия оптимальности выбран функционал обобщённой работы, который позволяет обеспечить минимальную погрешность регулирования температуры горячей жидкости при минимальном массовом расходе холодной жидкости.

Результат моделирования автоматической системы управления ТА получен в работе [11].

Полученные в работах [10,11] результаты являются имитационными моделями, описывающими поведения ТА. Данные модели позволяют собирать аналитические данные для проектирования систем управления.

Для перехода к технологии цифровых двойников необходимо разработать комплект технической документации, включающий в себя функциональную схему, принципиальную электрическую и т.д. Главная особенность данных схем заключается в том, что происходит переход от объектов к экземплярам объектов. Т.е. выбираются конкретные технические средства автоматизации и управления. Для примера приведена функциональная схема системы управления ТА (см. рис. 2). На этом же этапе происходит составление спецификации и монтаж системы.

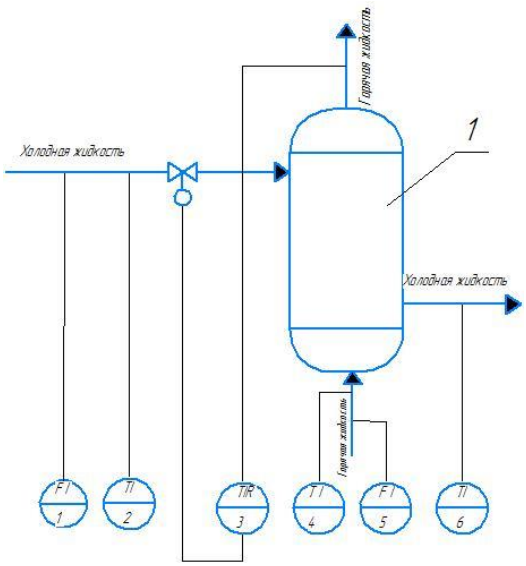


Рис. 2. Функциональная схема системы управления ТА
где: 1,5 – Расходомеры вихревые ЭЛЕМЕР-РВ; 2–4,6 – ТП-0195 термоэлектрические преобразователи; исполнительный механизм ЭПУ.

Далее требуется разработка базы данных, предназначенная для связки имитационных моделей и принципиальных схем с конкретными средствами автоматизации.

Во время эксплуатации и обслуживания системы управления ТА со временем происходит коррозия стенок, меняется сечение трубопровода за счёт засорения и т.д. Т.е. меняются параметры ТА, которые входят в модель (1). Для учёта данных изменений предлагается проводить анализ накопленных данных (анализ больших данных) и вычислять текущие реальные параметры [2]. При этом в цифровую модель заносится информация также и об обслуживании и замене средств автоматизации. Теперь в случае планового обслуживания или аварийной ситуации оператору сразу доступна максимальная информация о текущем объекте.

Таким образом, происходит переход к цифровому подходу проектирования систем управления, где учитываются все факторы и взаимосвязи, влияющие на эффективность работы системы управления в целом. При этом следует подчеркнуть, что цифровой двойник нужен как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации его реального объекта.

Список литературы

1. *Румянцев А.А*. Постиндустриальные технологии как драйвер новой индустриализации // Россия: тенденции и перспективы развития. 2019. №14-1. С. 541-543
2. *Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Кузьмишина А.М.* Разработка цифрового двойника режущего инструмента для механообрабатывающего производства // Известия вузов. Машиностроение. 2019. №4 С. 11-17
3. MindSphere – Открытая облачная платформа ([s.a.]) // Цифровая трансформация производств. URL: http://industry-software.ru / conf2017 / slides / 08-Mikhaylin-MindSphere-open_platform_for_the_IoT_from_Siemens.pdf.
4. Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector ([s.a.]) // McKinsey&Company. URL: http://www.forschungsnetzwerk.at / downloadpub / mck_industry_40_report.pdf.
5. Using advanced manufacturing technology for smarter construction. URL: http://apps.webofknowledge.commode
6. Design and development of BIM models to support operations and maintenance. URL: http://apps.webofknowledge.commode
7. Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. URL: https://www.sciencedirect.com

8. *Петров А.В.* Имитация как основа технологии цифровых двойников // Вестник ИрГТУ. 2018. №10 С. 56-66
9. Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry. URL: http://apps.webofknowledge.com
10. *Тишин, О.А.* Динамическая модель трубчатого теплообменного аппарата / *О.А. Тишин, А.А. Силаев, Е.Ю. Силаева* // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. - 2016. - № 2. - С. 38-45.
11. *Тишин, О.А.* Система автоматического управления температурой жидкости на выходе из теплообменного аппарата / *О.А. Тишин, А.А. Силаев, Е.Ю. Силаева* // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. - Волгоград, 2016. - № 3 (182). - С. 86-91.

05.13.06

[1]Л.А. Симонова д-р техн. наук, [2]Е.И. Егорова канд. техн. наук, [2]А.И. Ахмадиев

[1]Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
[2]Альметьевский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева - КАИ»,
lasimonova@mail.ru, egrvelena@mail.ru; blood_aid@mail.ru

МОДУЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Настоящая статья посвящена вопросу формирования маршрута обработки поверхности конструктивного элемента «Отверстие» на основе нечеткой логики в программном обеспечении Fuzzy Logic Toolbox в среде Matlab. Показана реализация работы модуля на примере конструктивного элемента типа «Отверстие», в зависимости от входных параметров шероховатость и точность размеров. Выбор оптимального маршрута обработки поверхности основывается на знании теории резания, которая непрерывно совершенствуется, а вместе с ней совершенствуются и методы обработки, появляются новые инструменты, оборудования и новые приемы обработки. Все это оказывает серьезное влияние на качество получаемых деталей и позволяет установить наиболее высокие показатели производительности и снижения трудоемкости изготовления детали в целом.

Ключевые слова: *интеллектуальная поддержка, база знаний, нечеткая логика, нечеткое множество, лингвистическая переменная, система поддержки принятия решений, функция принадлежности, фаззификация, дефаззификация.*

Выбор маршрута обработки поверхности зависит от заданной точности обрабатываемой детали, но для достижения некоторых значений точности необходимы действия, которые будут осуществляться в несколько этапов механической обработки.

В качестве примера рассмотрим конструктивный элемент отверстие 6 класса точности. Технолог при проектировании технологического процесса понимает, что достичь требуемую точность обработки можно только при предварительном сверлении и затем развертывании данного отверстия. Поэтому, в зависимости от выбранного инструмента, маршрут обработки конструктивного элемента отверстие может состоять из нескольких технологических переходов. Процесс принятия технологического решения в данной ситуации инженером-технологом происходит без затруднений и опирается на многолетний опыт.

В модуле формирования маршрутов обработки поверхностей (МОП) интеллектуальной системы проектирования технологических процессов процесс принятия технологического решения происходит автоматически на основе нечеткой логики.

В функциональной модели (рисунок 1) модуля формирования маршрутов обработки поверхности входные данные представляют собой параметры предмета производства (габариты, вес, материал детали, конструкторские элементы и пр.), механизмом управления являются нормативы, БД оборудования и пр., а ресурсами осуществления преобразования входных данных в выходные являются базы знаний производства, накопленный опыт и правила. Выходными параметрами будут технологические решения, сформированные автоматически.

Рис. 1. Функциональная модель МОП

Процесс автоматического принятия оптимального технологического решения носит многовариантный характер и реализуется с помощью правил на основе нечеткой логики.

На рисунке 2 представлена структурная модель модуля формирования маршрута обработки поверхностей (МОП).

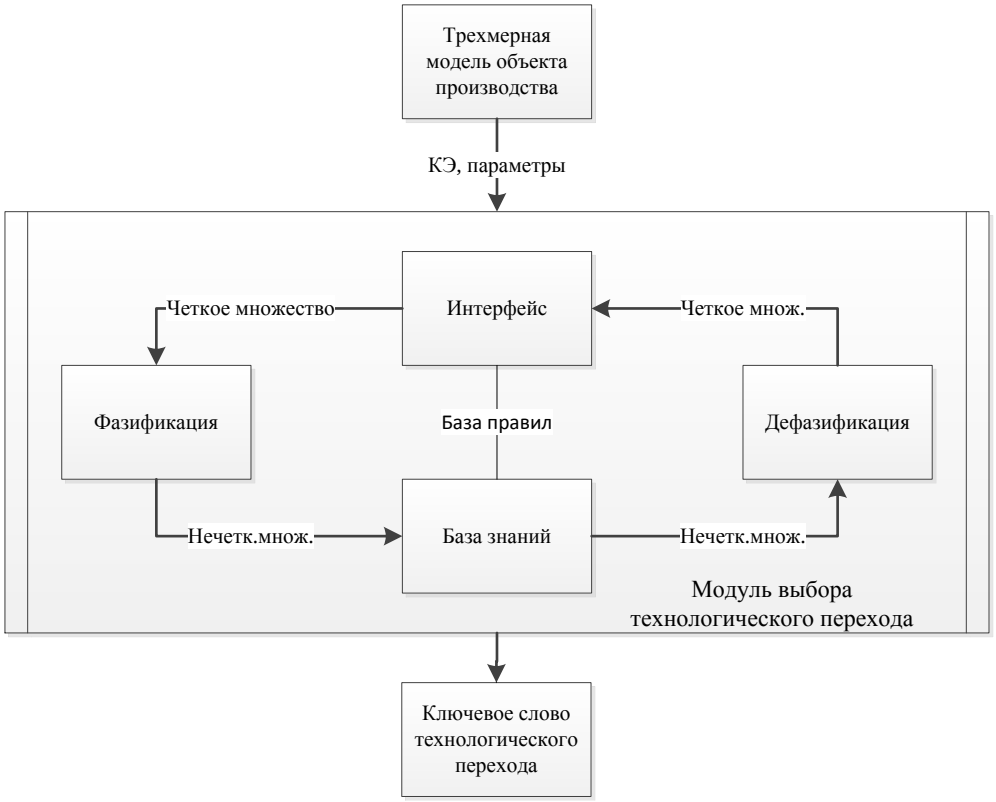


Рис. 2. Структурная модель МОП

Правила на основе нечеткой логики построим в программе MatLab[1], с использованием надстройки Fuzzy Logic Toolbox (рисунок 3), которая специально предназначена для этого.

Под нечетким множеством будем понимать возможные варианты технологических решений (переходы) для механической обработки конструктивного элемента отверстие (КЭ). На выбор оптимального технологического решения будут влиять две входные переменные: «Шероховатость» и «Точность». В теории нечетких множеств эти входные переменные называются лингвистическая переменная — переменная, которая может принимать значения фраз из естественного или искусственного языка.

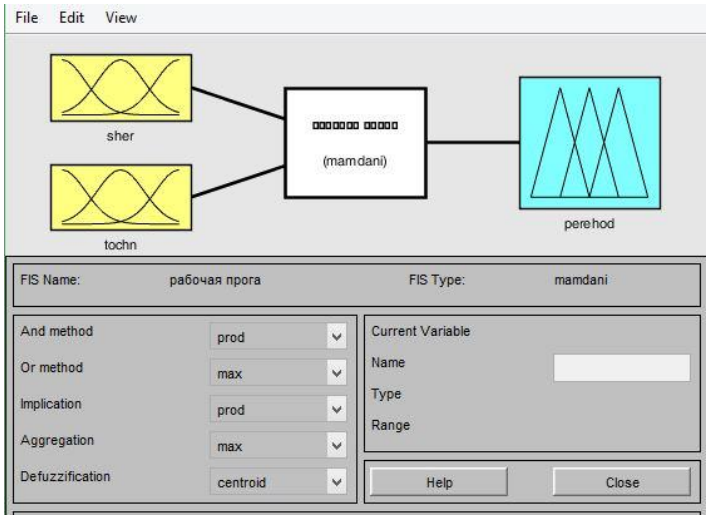


Рис. 3. Редактор Fuzzy Logic Toolbox

Лингвистической переменной называется множество {x,$\mu_{(x)}$,X,G,M}, где x - имя переменной; $\mu_{(x)}$ - некоторое множество значений лингвистической переменной x, каждое из которых является нечеткой переменной на множестве X; G - синтаксическое правило для образования имен новых значений x; M - семантическая процедура, позволяющая преобразовать новое имя, образованное процедурой G в нечеткую переменную (задать вид функции принадлежности), ассоциирует имя с его значением, понятием.

$\mu_{(x)}$ также называют базовым терм-множеством, поскольку оно задает минимальное количество значений, на основании которых при помощи правил G и M можно сформировать остальные допустимые значения лингвистической переменной. Множество T(x) и новые образованные при помощи G и M значения лингвистической переменной образуют расширенное терм-множество [2].

Например, для лингвистической переменной «Шероховатость» принимаем значения «очень высокая», «высокая», «средняя», «низкая». При этом минимальная шероховатость 0,2 мкм, а максимальная 12,5 мкм. Формализацию запишем следующей лингвистической переменной:

{S,T(s),X,G,M}

S – шероховатость, T(s) – {«очень высокая», «высокая», «средняя», «низкая»}, X – [0.2, 12.5], G – процедура образования новых термов «чуть ниже», «чуть выше» и пр., M – процедура задания на X = [0,2;12,5] нечетких подмножеств A_1=«очень высокая», A_2 = «высокая», A_3 = «средняя», A_4=«низкая», а также нечетких множеств для термов из G(T) в соответствии с правилами трансляции нечетких связок.

Таблица 1. Лингвистическая переменная «Шероховатость»

Лингвистическая переменная	Очень высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Диапазон	0.2-1.25	1.25-3.2	3.2-6.3	6.3-12.5

Значения шероховатости для диапазона лингвистической переменной представлены из предпочтительных значений принятых в ГОСТ 2789-73 [3]:

Si={0.2, 0.4, 0.8, 1.25, 1.6, 3.2, 6.3, 12.5}

Так как множество параметров шероховатости является конечным и содержит 8 элементов, то нечеткое множество записывается в следующем виде:

$$A_{S_i} = \sum_{i=1}^{8} \frac{\mu_A(S_i)}{S_i}$$

где $\mu_A(S_i)$ - степень принадлежности элемента S_i нечеткому множеству A.

Производим процесс фазификации, т.е. задаем нечеткое множество на основе известных количественных значений. Фазификация позволит объективно представить присутствующие неточности результатов. На данном этапе приводим в соответствие значения входных параметров с их нечеткими лингвистическими переменными с последующим выбором закона изменения функции принадлежности [4].

Для практического использования принимаем нелинейные четкие функции принадлежности: закон нормального распределения, которые могут быть аналитически представлены в виде некоторой простой математической функции. Выбор такого типа функции принадлежности обусловлен ее достаточной гибкостью и простотой и задается лишь двумя параметрами. Это позволит сократить размерность задачи оптимизации, возникающей на этапе параметрической идентификации.

Для нечеткого подмножества A_1 выбираем Z-образную функцию принадлежности. Универсумом является S=[0.2;1.25]

$$\mu_A(S,a,b) = \begin{cases} 1, & S \le 0.2 \\ 1 - 2\left(\dfrac{S-0.2}{1.25-0.2}\right)^2, & 0.2 \le S \le 0.725 \\ 2\left(\dfrac{1.25-S}{1.25-0.2}\right)^2, & 0.725 < S < 1.25 \\ 0, & 1.25 \le S \end{cases}$$

Для нечеткого подмножества A_2 выбираем симметричную функцию принадлежности Гаусса. Универсумом является S=[1.25;3.2]

$$\mu_A(S,c,d) = \mathrm{e}^{-\frac{(S-2.225)^2}{2\cdot \mathrm{d}^2}}$$

где, параметры геометрически интерпретируются следующим образом:

c – координата максимума функции принадлежности в нашем случае c=2,225;

d – коэффициент концентрации функции принадлежности, в нашем случае принимаем равной 0,5.

Для нечеткого подмножества A_3 выбираем симметричную функцию принадлежности Гаусса. Универсумом является S=[3.2;6.3]

$$\mu_A(S,c,d) = \mathrm{e}^{-\frac{(S-4.75)^2}{2\cdot \mathrm{d}^2}}$$

где, параметры геометрически интерпретируются следующим образом:

c – координата максимума функции принадлежности в нашем случае c=4,75;

d – коэффициент концентрации функции принадлежности, в нашем случае принмаем равной 0,5.

Для нечеткого подмножества A_4 выбираем S-образную функцию принадлежности. Универсумом является S=[6.3;12.5]

$$\mu_A(S,a,b) = \begin{cases} 0, & S \le 6.3 \\ 2\left(\dfrac{S-6.3}{12.5-6.3}\right)^2, & 6.3 < S \le 9.4 \\ 1 - 2\left(\dfrac{12.5-S}{12.5-6.3}\right)^2, & 9.4 < S < 12.5 \\ 0, & 12.5 \le S \end{cases}$$

По всем приведенным функциям принадлежности лингвистической переменной «Шероховатость» построим график в Fuzzy Logic Designer (рисунок 4).

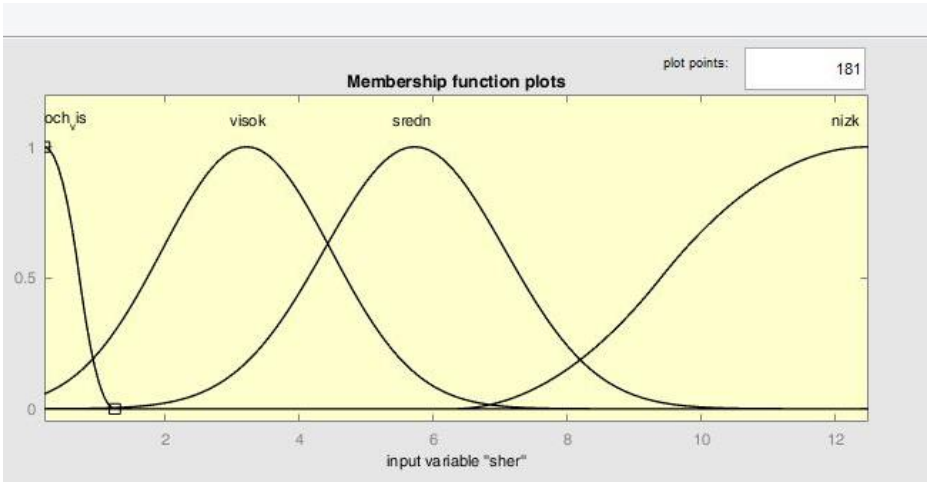


Рис. 4. Функции принадлежности нечетких множеств «Шероховатость

Так как метод обработки зависит еще и от входного параметра «Точность», создаем лингвистическую переменную, которая имеет некоторое множество значений «высокая», «средняя», «низкая». При этом минимальная точность 13 квалитет, а максимальная 6. Формализацию запишем следующей лингвистической переменной:

{t,T,X,G,M}

где t – точность, T – {«очень высокая», «высокая», «средняя», «низкая»}, X – [6, 13], G – процедура образования новых термов «чуть ниже», «чуть выше» и пр., M – процедура задания на X = [6,13] нечетких подмножеств A1=«высокая», A2 = «средняя», A3=«низкая», а также нечетких множеств для термов из G(T) в соответствии с правилами трансляции нечетких связок.

Таблица 2. Лингвистическая переменная «Точность размеров»

Лингвистическая переменная	Высокая	Средняя	Низкая
Диапазон	6<IT<8	8<IT<11	11<IT<13

Для лингвистической переменной «Точность» возможные значения составляют следующее множество:

Si = {6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13}

Нечеткое множество параметра точности является конечным и содержит 8 элементов, нечеткое множество A записывается так:

$$A_{t_i} = \sum_{i=1}^{8} \frac{\mu_A(t_i)}{t_i}$$

где $\mu_A(t_i)$ - степень принадлежности элемента t_i нечеткому множеству A.

Для подмножества точность размеров производим процесс фазификации и сводим в общий график, рисунок 5.

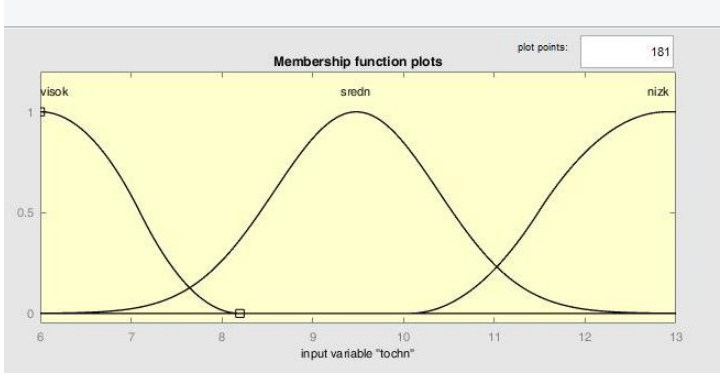


Рис. 5. Функции принадлежности нечетких множеств «Точность

Причинно-следственные связи между значениями входных и выходных параметров формализуются в виде совокупности нечётких логических правил вывода «если – то» (if – then), которые называются нечёткой импликацией.

При механической обработке конструктивного элемента отверстие используются следующие зависимости:

1. Если шероховатость низкая и точность низкая, тогда переход сверление или черновое фрезерование.
2. Если шероховатость низкая и точность низкая, тогда переход черновое фрезерование.
3. Если шероховатость низкая и точность средняя, тогда переход черновое фрезерование.
4. Если шероховатость средняя и точность средняя, тогда переход чистовое фрезерование.
5. Если шероховатость высокая и точность средняя, тогда переход зенкерование.
6. Если шероховатость высокая и точность высокая, тогда переход тонкое фрезерование.
7. Если шероховатость очень высокая и точность высокая, тогда переход развертывание.

Правила можно прописывать используя редактор правил Rules Editor (рисунок 6), например, для перехода «Развернуть» запись выглядит следующим образом:

if (sher is och_vis) and (tochn is visok) then (perehod is razvern)

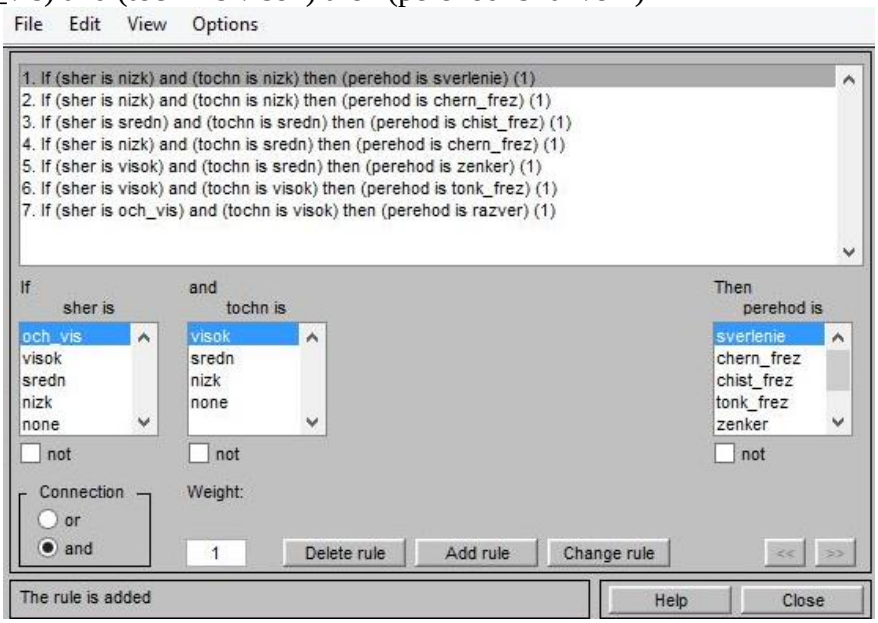


Рис. 6. Редактор правил

Трехмерный график, построенный в Fuzzy Logic Designer, показывает зависимость входных и выходных параметров (рисунок 7).

На этапе дефазификации происходит интерпретация технологического решение обратной задачи фазификации, то есть преобразование лингвистических переменных входных параметров в значения конкретного конечного технологического решения (переход) для конструктивного элемента отверстие. Например, для шероховатости 12,5 мкм и точности размеров по 13 квалитету технологическое решение (переход) имеет значение «Сверлить» со степенью 0,51.

Поверхность трехмерного графика (рисунок 7) отображает возможные технологические решения (переходы) для механической обработки КЭ «Отверстие» с разной степенью вероятности при изменении входных параметров шероховатости и точности.

Переход «Сверление» достигает максимального значения 0,5…0,7 при параметрах: S =6.3…12.5 мкм и t =11…13 квалитет.

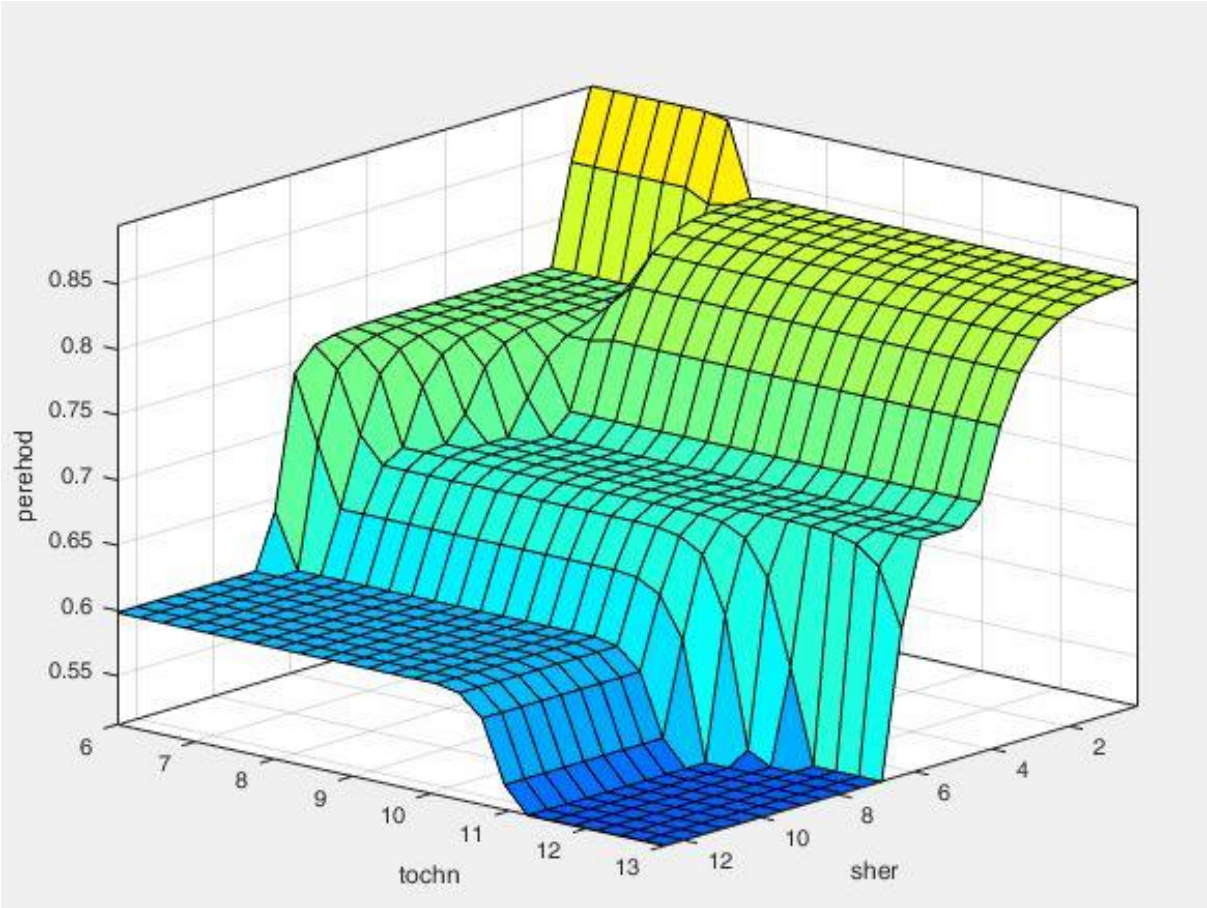


Рис.7. Графическое представление работы правил Fuzzy Logic

Модуль формирования маршрутов обработки поверхности, работающий на основе правил нечеткой логики позволяет формировать оптимальные технологические решения (переходы) для механической обработки детали в автоматическом режиме.

Преимущество использования нечеткой логики для решения данной задачи заключается в следующем:

1. Представленная логическая модель более понятна оператору ЭВМ, чем математическая модель на основе уравнений.
2. Использование нечетких множеств позволит менять лингвистические критерии при возникновении новых прогрессивных методов обработки или замены оборудования на производстве.
3. Предложенный подход позволяет объединять экспертные знания технологов и аналитические зависимости параметров точности и шероховатости.

Список литературы

1. *Тарасян В.С.,* Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab: учеб. пособие, Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2013.
2. «Лингвистическая переменная [Электронный ресурс],» Материал из Википедии — свободной энциклопедии, 28 февраль 2017. [В Интернете]. Available: https://ru.wikipedia.org/?oldid=83965261. [Дата обращения: 25 сентябрь 2019].
3. ГОСТ 2789-73, Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. -Взамен ГОСТ 2789-59, Москва: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1973.
4. *Полковникова Н.А., Курейчик В.М.,* «Разработка модели экспертной системы на основе нечеткой логики,» Известия ЮФУ. Технические науки, pp. 83-92, 2014.

05.13.06

С.С. Федоров, Г.Е. Кокиева д-р техн. наук

Якутская ГСХА

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ОБЪЕДИНЕНИЯХ

Функционирование предприятий в условиях рынка предусматривает трансформацию организационно-экономических форм и структур основных хозяйственных звеньев в целях обеспечения адаптации их к рыночной среде и активизации инновационно-инвестиционной деятельности. В данной работе описывается механизм работы межхозяйственной кооперации и агропромышленная интеграция в республике Саха (Якутия).

Ключевые слова: *межхозяйственная кооперация, структурное преобразование, эффективность производства, сельхозпродукция, инвестиционная деятельность, потребительские кооперативы, конкурентоспособность, уставной капитал.*

Создание любого кооперативно-интеграционного формирования предполагает структурные преобразования и развитие отношений по управлению собственностью в различных ее формах; снижение издержек в технологической цепочке «производство – переработка – сбыт продукции»; удовлетворение потребностей в техническом, материальном обеспечении и обслуживании; проведение согласованной инвестиционной, маркетинговой и кредитной политики; обеспечение эффективности производства, конкурентоспособности производимой продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Ежегодный консолидированный бюджет АПК РС(Я) составляет около 10 млрд. рублей, доля субсидий на молоко составляет около 27 % от общего консолидированного бюджета, т.е. 2,7 млрд. рублей.

Сельскохозяйственным товаропроизводителям (далее - СХТП) соинвестирование можно получить в виде участия АО ФАПК «Туймаада» в уставном капитале, в виде заема под залог основных средств, земель [1-5].

На рис.1 приведено количество сельскохозяйственных потребительских кооперативов в республике Саха (Якутия).

Рис. 1. Количество сельскохозяйственных потребительских кооперативов в республике Саха (Якутия)

Из 71 заготовительной организации, определенной в 2018 году, 52 являются потребительскими кооперативами, что подчеркивает решающую роль кооперации на этапах заготовки и переработки местной сельхозпродукции (таблица 1).

Таблица 1- Заготовительные организации, определенные на 2016-2017гг

Категория заготовительных организации	Количество, всего		В том числе с/х потребительские кооперативы	
	на 2016г	на 2017г	на 2016г	на 2017г
По молоку (решения муниципальных районов и городских округов)	38	40	28	27
По мясу КРС и лошадей	20	24	18	20
По картофелю и овощам открытого грунта	9	7	6	5
Итого	67	71	52	52

На 2017 год было определено 7 видов сельхозпродукции, по которым установлена рекомендуемая минимальная заготовительная цена – это сырое молоко, 3 вида мяса КРС и лошадей, картофель, капуста и зерно (Таблица 2).

Таблица 2 - Размеры рекомендуемой минимальной заготовительной цены по видам продукции на 2017-2018гг.

Перечень видов продукции, по которым устанавливаются размер рекомендуемой минимальной заготовительной цены	Размер рекомендуемой минимальной заготовительной цены, рублей за кг	
	Приказ Минсельхоза РС(Я) от 30 декабря 2015г №870	Приказ Минсельхоза РС(Я) от 30 декабря 2016г №873
Молоко сырое коровье	45	46
-высший и первый сорт		45
-второй сорт		
говядина	400	400
конина	315	315
жеребятина	370	370
Картофель продовольственный	26	28
Овощи открытого грунта	22	24
Зерно (пшеница, ячмень, овёс)	15	15

В рамках федеральной грантовой поддержки развития материально-технической базы кооперативов за 4 последних года профинансировано 72 проекта по переработке сельхозпродукции. Из 72 реализованных проектов более половины составляет переработка молока, также поддержаны проекты по переработке мяса, картофеля, овощей и дикоросов. Одним из достижений грантовой поддержки кооперативов стало массовое строительство механизированных убойных пунктов – если до 2014 года действовало только 5 убойных пунктов, то сейчас уже 19. Несмотря на многолетнее развитие системы заготовки, переработки и сбыта сельхозпродукции, доля местной продукции в совокупном объеме реализации продовольственных товаров на территории республики снизилась за 2010-2017 годы от 7 до 5 процентов. При этом соотношение валовой продукции сельского хозяйства и объема реализации продтоваров составляет 28 процентов, что говорит о наличии потенциала роста уровня переработки местной сельхозпродукции.

Ситуацию усугубляет то, что из общей площади сельхозугодий всего лишь 54 процента являются землями сельхозназначения. Еще 35 процентов относится к землям запаса, 6 процентов – к землям лесного фонда, почти 4,5 процента – к землям населенных пунктов.

Тенденция снижения поголовья КРС у личных подсобных хозяйств населения никак не увязывается с процессами перераспределения земель, а без этого невозможно сформировать кормовую базу для тех хозяйств, которые хотят увеличивать поголовье, в том числе за счет выкупа КРС у ЛПХ граждан (рисунки 2,3) [6-9].

Рис. 2. Сведения об общей площади земель (всех категории), используемых КФХ и ЛПХ граждан по состоянию на 1 января 2017года

Рис. 3. Наличие сельскохозяйственных угодий в РС (Я) на 1 января 2017года, тыс га

Поэтому при разработке новой редакции госпрограммы развития сельского хозяйства необходимо предусмотреть комплекс тех мероприятий, которые будут стимулировать консолидацию земель у эффективных собственников, прежде всего за счет поддержки кооперации и укрупнения действующих хозяйств.

Необходимо коренной пересмотр действующих механизмов господдержки отрасли, для выработки совершенно новой структуры госпрограммы с обновленным перечнем целевых индикаторов.

В целом за 6 лет должно быть поддержано создание 80 новых потребкооперативов с вовлечением более 3 тысяч новых членов, а также 168 крестьянских хозяйств по грантам «Агростартап» с созданием 336 новых рабочих мест. Межхозяйственная кооперация и агропромышленная интеграция имеют большие преимущества по сравнению с другими формами организации сельскохозяйственного производства. Значительно расширяются возможности и масштабы уровня концентрации отраслей растениеводства и животноводства. Создаются благоприятные условия и необходимые предпосылки для установления прямых

связей между сельским хозяйством и промышленностью, созданию широкой сети агропромышленных предприятий и объединений, которым, принадлежит большое будущее в успешном решений организационных и многих социально-экономических проблем развития сельского хозяйства.

Список литературы

1. Аграрная экономика: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. М.Н. Малыша. СПб.: Лань, 2002.688 с.
2. *Даянова, Г.И., Егорова, И.К., Колесова, М.С., Баишева, А.Ф.* Оценка возможностей развития сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) на основе ретроспективного анализа // Экономика и предпринимательство. 2017. № 9-4 (86-4). С. 1195-1200.
3. Инновационные подходы к проблемам и перспективам развития агропромышленного комплекса в РС(Я) / Материалы докладов науч. практ. конфер., посв. 100-летию М.Г. Сафронова и 60-летию Якутского НИИСХ им. М.Г. Сафронова- Якутск, 2017. – 379 с.
4. Методические рекомендации по составлению технологических карт и расчету себестоимости продукции растениеводства в РС(Я) (зерно, картофель, капуста, сено, силос и сенаж): метод. Рекомендации / МСХ РС(Я), ЯНИИСХ, Госкомцен – РЭК РС(Я). – / Якутск, 2004. – 67 с.
5. Методические рекомендации по составлению технологических карт и расчету себестоимости продукции скотоводства в РС(Я): метод. Рекомендации / МСХ РС(Я), ЯНИИСХ, Госкомцен – РЭК РС(Я). - Якутск, 2004. – 104 с.
6. Методические рекомендации по составлению технологических карт и расчету себестоимости продукции табунного коневодства в РС(Я): метод. рекомендации / МСХ РС(Я), ЯНИИСХ, Госкомцен – РЭК РС(Я). - Якутск, 2005. – 162 с.
7. Система ведения сельского хозяйства в РС(Я) на период 2016-2020 гг.: Методические пособия / МСХ РС(Я), ЯНИИСХ, Госкомцен – РЭК РС(Я). - Якутск, 2017. – 415 с.
8. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016-2020 годы: методическое пособие / А.И. Степанов, Л.С. Иванова, С.А. Павлова и др. Кемерово: ООО «Технопринт», 2017. 416 с.
9. *Тихонов, Н.Н.* Северное село. – Новосибирск: Наука, 1996. – 384 с.
10. *Тимошина, Т.М.* Экономическая история России: учебное пособие / под ред. проф. М.Н. Чепурина. 15-е изд., перераб. и доп. М.: ЗАО «Юстицинформ», 2009.424 с.

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

05.13.11

А.И. Кононова канд. техн. наук

НИУ «Московский институт электронной техники»,
СПИНТех,
Москва, Зеленоград, illinc@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЫХ ТОЧЕК ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФАЙЛА В ПИРИНГОВОЙ СЕТИ

В статье рассматривается динамическая модель распространения файла в пиринговой сети BitTorrent, позволяющая оценить тенденции изменения количества количества сидеров и личеров на раздаче. Описаны ключевые этапы исследования: поиск особых точек, определение их динамики.

Ключевые слова: *обыкновенные дифференциальные уравнения, устойчивость, файлообменные сети.*

Сложные многопараметрические модели позволяют очень точно прогнозировать поведение описываемой системы, но для их построения необходимо получить большое количество информации об этой системе [1]. Исследование же качественного поведения простой динамической модели (системы обыкновенных дифференциальных уравнений) позволяет определить характер эволюции системы в целом, абстрагируясь от чрезмерного количества деталей [2]. Ключевым этапом качественного исследования динамической модели является исследование положения и типа её особых точек [3].

Рассмотрим задачу повышения устойчивости пиринговых файлообменных сетей, что актуально с учётом их повсеместного распространения [4]. Следуя сложившейся традиции [5], будем называть пользователей, участвующих в раздаче, соответственно *сидерами* (обладающие полной копией файла) и *личерами* (скачивающие файл у других), сервер — *торрент-трекером*. Количество сидеров и личеров на раздаче будем обозначать как s и l соответственно, $s, l \in \mathbb{R}$ [4]. Нецелое значение s или l соответствует среднему присутствию за некоторый период, в частности, за сутки, с учётом ширины канала.

На основе рассмотрения процессов информационных обменов, как описано в [4], построена модель:

$$\begin{cases} \dot{s} &= s \cdot l - \beta_1 \cdot s \cdot e^{-\frac{l}{M_1}} \\ \dot{l} &= \alpha \cdot s \cdot (N - l - s) - s \cdot l - \beta_2 \cdot l \cdot e^{-\frac{s+l}{M_2}} \end{cases} \quad (1)$$

где $N>0$ – общее число пользователей ресурса, заинтересованных в файле, $\alpha>0$ характеризует привлекательность раздачи, $\beta1$, $M1 > 0$ и $\beta2$, $M2 > 0$ характеризует отток сидеров и личеров соответственно.

Анализ особых точек динамической системы. Особые точки системы (1) можно найти, приравняв правые части (1) к нулю.

Очевидно, обе правые части (1) обращаются в ноль при $s = l = 0$. При $s = 0$ и $l \neq 0$ правая часть второго уравнения (1) не обращается в ноль.

Если $s \neq 0$, из стационарности первого уравнения получаем

$$l / \beta 1 = \exp(-l / M1), \quad (2)$$

которое при любых $\beta 1 > 0$ и $M1 > 0$ имеет решение l^* ($0 < l^* < \beta 1$) (рис. 1).

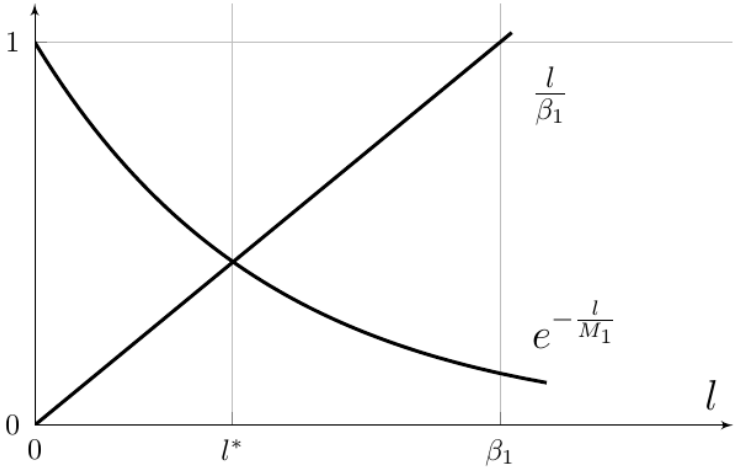


Рис. 1 — Определение координаты *l** ненулевых особых точек

Тогда из стационарности второго уравнения (1):

$$\alpha \cdot s \cdot (N - l^* - s) - s \cdot l^* - \beta_2 \cdot l^* \cdot e^{-\frac{s+l^*}{M_2}} = 0 \tag{3}$$

что можно переписать в виде:

$$-\frac{\kappa}{\beta_2} \cdot s(s - 2q) = e^{-\frac{s}{M_2}} \tag{4}$$

где к = α/*l** · *exp(l*/M1)* и *q =(N − l* − l*/α)* не зависят от *β2*.

При *q = 0* уравнение (4) не имеет корней, а система (1), соответственно, не имеет ненулевых особых точек (рис. 2, а).

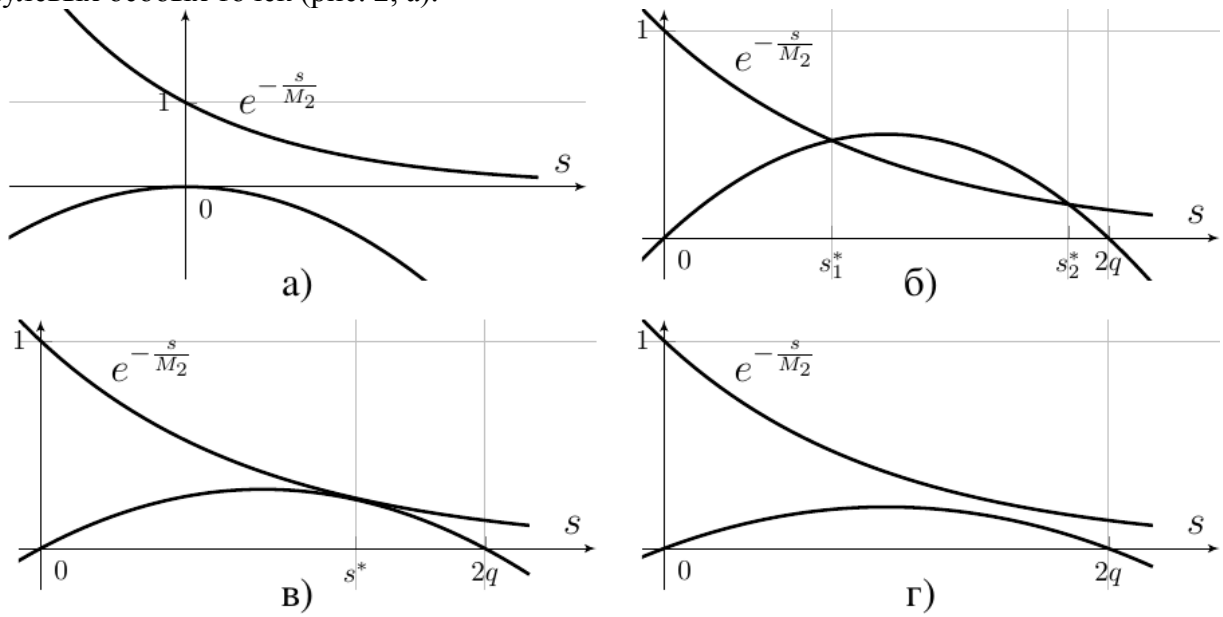


Рис. 2 — Определение координат *s*1* и *s*2* ненулевых особых точек

При *q ≠ 0* уравнение может, в зависимости от соотношения β2 и других параметров, иметь два решения *s*1* и *s*2* в интервале от 0 до *2q* (рис. 2, б), одно решение *s*1 = s*2 = s** (рис. 2, в) или не иметь ни одного вещественного решения (рис. 2, г). При *q < 0* (то есть α < *l*/(N-l*)*) все они лежат в области *s < 0*, которая не имеет физического смысла.

Таким образом, система (1) может иметь от одной до трёх особых точек. Переходный случай с двумя особыми точками (0,0), (*s**, *l**) неустойчив и при малом изменении параметров (*s**, *l**) либо исчезает, либо распадается на две. Соответственно, (*s**, *l**) вырождена. Философия общего положения описывает случаи одной особой точки (0,0) и трёх особых точек (0,0), (*s*1*, *l**), (*s*2*, *l**).

Динамика вблизи начала координат. Динамика вблизи особой точки определяется матрицей Якоби *J(s,l)* системы в этой точке. Таким образом, если обозначить правые части уравнений системы (1) как S и L,

$$J(s,l) = \begin{pmatrix} \frac{\partial S}{\partial s}(s,l) & \frac{\partial S}{\partial l}(s,l) \\ \frac{\partial L}{\partial s}(s,l) & \frac{\partial L}{\partial l}(s,l) \end{pmatrix} \tag{5}$$

где

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial s}(s,l) &= l - \beta_1 \cdot e^{-\frac{l}{M_1}} \\ \frac{\partial S}{\partial l}(s,l) &= s - \beta_1 \cdot s \cdot e^{-\frac{l}{M_1}} \left(-\frac{1}{M_1}\right) = s\left(1 + \frac{\beta_1}{M_1} \cdot e^{-\frac{l}{M_1}}\right) \\ \frac{\partial L}{\partial s}(s,l) &= \alpha N - (1+\alpha)l - 2\alpha s - \beta_2 \cdot l \cdot e^{-\frac{s+l}{M_2}} \left(-\frac{1}{M_2}\right) \\ \frac{\partial L}{\partial l}(s,l) &= -(1+\alpha)s - \beta_2 e^{-\frac{s+l}{M_2}} \left(1 - \frac{l}{M_2}\right) \end{aligned} \tag{6}$$

В особой точке *s* = *l* = 0 матрица Якоби системы (1) имеет вид

$$J(0,0) = \begin{pmatrix} -\beta_1 & 0 \\ \alpha N & -\beta_2 \end{pmatrix} \tag{7}$$

Собственные числа этой матрицы равны −β1 и −β2. Таким образом, точка *s = l = 0* всегда будет притягивающим узлом.

Динамика вблизи ненулевых особых точек. Рассмотрим теперь ненулевые особые точки (*s*1, l**), (*s*2, l**). Для них верно *s*i ≠ 0, l* > 0*, а также обе правые части (1) обращаются в ноль. Обозначим

$$J(s_i^*,l^*) = A_i = \begin{pmatrix} a_{ss}^i & a_{sl}^i \\ a_{ls}^i & a_{ll}^i \end{pmatrix} \tag{8}$$

Причём для обеих ненулевых особых точек (1) *aiss* = 0. Соответственно, собственные числа (8) являются корнями характеристического уравнения

$$\lambda(\lambda - aill) - aisl\ ails = 0. \tag{9}$$

Левая часть (9) представляет собой параболу, проведённую через точки (0,0) и (*aill*, 0) (тонкая линия на рис. 3) и затем смещённую вниз на величину *aisl ails* (жирная линия на рис. 3). Таким образом, при *aisl ails = 0* корни (9) равны соответственно λ1 = *aill* и λ2 = 0. Учитывая то, что у системы (1) нет особых линий, при *aisl ails = 0* особая точка вырождена, что реализуется при *s*1 = s*2 = s**.

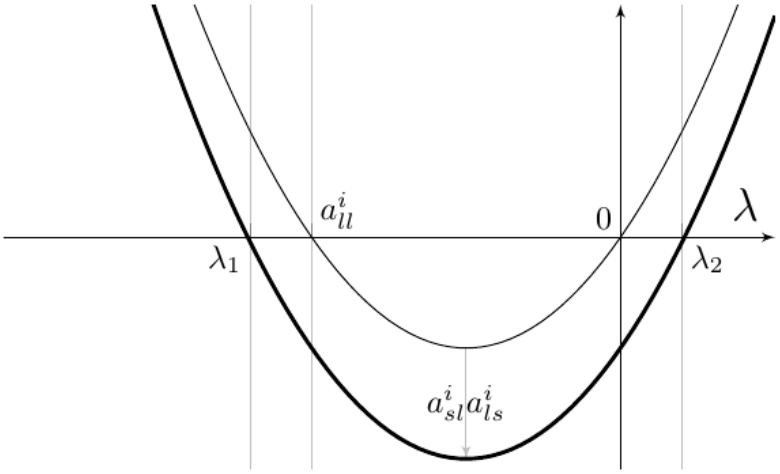


Рис. 3 — Характеристическое уравнение для ненулевых особых точек (1)

При *aisl ails* > 0 корни λ1 и λ2 оба вещественны и имеют разные знаки (именно эта ситуация показана на рис. 3). Соответственно, особая точка является седлом. При *aisl ails* < 0 корни λ1 и λ2 смещаются к экстремуму параболы, и их знак (в случае комплексно сопряжённых корней, то есть при *aisl ails* .< − (*aill* / 2)2, — знак вещественной части) совпадает со знаком *aill*. Соответственно, особая точка является обобщённым узлом (классическим узлом или, в случае комплексно сопряжённых корней, фокусом). Его устойчивость определяется знаком *aill*: при *aill* < 0 имеем притягивающий обобщённый узел, при *aill* > 0 – отталкивающий.

В дальнейшем, рассматривая устойчивость узлов и их взаимное расположение с сёдлами, можно сделать вывод об устойчивости раздачи. Так, если ненулевые особые точки находятся в физически реализуемом первом квадранте координатной плоскости, то (*s*1, l**) — седло, (*s*2, l**) — устойчивый обобщённый узел. Соответственно, возможна стабилизация раздачи в ненулевом устойчивом состоянии.

Рассматривая влияние изменения параметров на устойчивость раздачи, можно исследовать эффективность административных мер.

Список литературы

1. *Гагарина Л.Г. Слюсарь В.В. Федоров А.Р. Федоров П.А.* Разработка математической модели процесса поиска и обработки неструктурированной документированной информации. – Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 9. – С. 41-44

2. *Арнольд В.И.* «Жёсткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2008. 32 с.

3. *Баутин Н.Н., Леонтович Е.А.* Методы и приёмы качественного исследования динамических систем на плоскости. М.: Наука, 1990. 486 с.

4. *Кононова А.И.* Динамическая модель процессов информационных обменов в пиринговой сети // Моделирование и анализ информационных систем (ВАК, WoS). 2018. Т. 25, № 4. С. 421–434.

5. Электронный ресурс: *Морозов Е.* Как работает протокол BitTorrent // https://www.iguides.ru/main/other/kak_rabotaet_protokol_bittorrent/. 2017.

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

05.13.11

Д.П. Сидоров канд. техн. наук, С.Д. Шибайкин канд. техн. наук, А.А. Аббакумов канд. техн. наук

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, shibaikinsd@mail.ru, abbakumov_aa@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В работе рассмотрены различные модели анализа текстов (включая машины опорных векторов, нейронные сети, логистические регрессии, наивный Байесовский классификатор). Предложено повысить эффективность детекции сообщений путем объединения классификаторов в ансамбли.

Ключевые слова: *машинное обучение, нейронная сеть, классификатор, метрика точности, бустинг, бэггинг, стекинг*.

С развитием информационных технологий наблюдается бурный рост объемов текстовой информации. Большую долю в ней составляют, так называемые, основные данные, содержащие информацию об организациях - участниках бизнес-процессов, их структуре, продукции и так далее. Решениями для управления основными данными занимаются многие производители программного обеспечения. Обработка документации и управление нормативно-справочной информацией – наиболее важные направления данной работы.

Для быстрого и удобного поиска требующихся данных, возможности ориентироваться в постоянно растущем объеме информации необходима автоматическая классификация текстов, которая может производиться по различным признакам и характеристикам. Когда невозможно найти формальное описание соответствующего класса, необходимо его признаки выстраивать на основе имеющихся данных, выделять и извлекать из представленных текстов. Данная задача в настоящее время часто выполняется с использованием методов машинного обучения [1].

Для постановки эксперимента по классификации текстов различными классификаторами необходимо выполнить следующие этапы:

– подготовка текстовых данных;
– создание словаря слов;
– процесс извлечения характерных черт (Feature extraction);
– выбор и обучение классификаторов;
– оценка эффективности результатов классификации.

Подготовка текстовых данных началась с разделения банка данных нормативно-справочной информации (см. рисунок 1) на обучающие и тестовые выборки. Соотношение обучающих и тестовых данных было определено как 65:35.

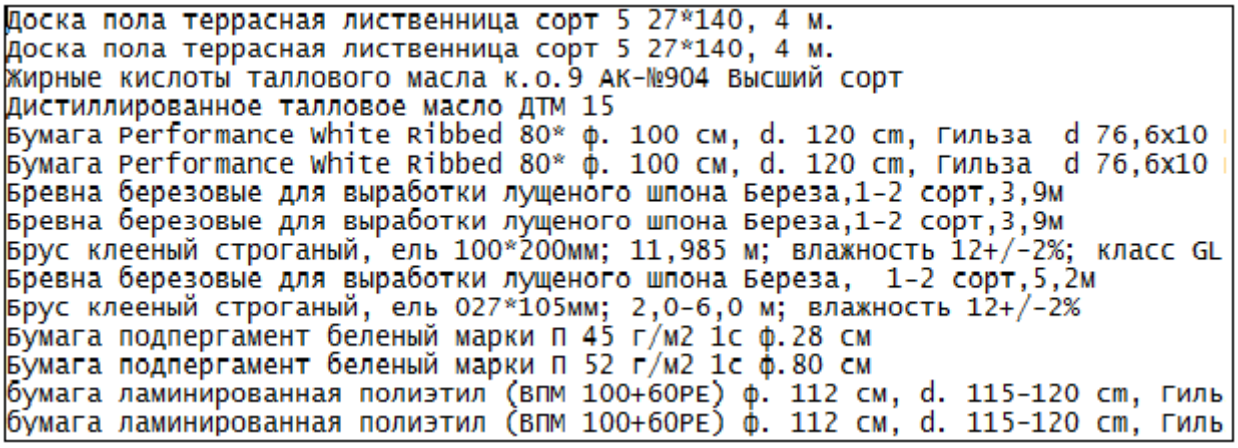


Рис. 1 – Нормативно-справочная информация

Каждому тексту необходимо сопоставить набор значений признаков, характеризующих информацию в нем. Разработке методик обработки текстовых документов для организации процедуры информационного поиска с целью получения результатов с достаточной релевантностью уделяется большое внимание. Некоторые подходы рассмотрены в [1].

Наличие, взаимодействие и взаимное расположение элементов текста количественно можно определить, рассматривая частоты появления этих элементов. В качестве элементов обычно используются сочетания букв, слова или словосочетания. Затем удаляются неинформативные слова: предлоги, союзы и частицы, а также знаки препинания, арифметические операции и т.д. Потом производится процедура стемминга, позволяющая найти основу слова для заданного исходного слова [2].

Далее создается словарь слов и их частота. Для этой задачи используется набор из 1000 различных наименований. Процесс извлечения характерных черт (Feature extraction process) начинается после того, как решена задача формирования словаря. Мы можем извлечь вектор числа слов, характеризующий частоту появления каждого слова словаря в тексте.

После того, как словари и матрицы характерных черт сформированы, можно проводить классификацию текстов различными классификаторами с тем, чтобы определить, какие из них наиболее эффективны в решении задачи классификации.

Для того, чтобы провести оценку точности и эффективности анализа больших объемов данных средствами машинного обучения, следует использовать методики, которые основаны на вычислении матриц ошибок и расчетах, проведенных на основе метрик. Виды метрик точности подробно рассмотрены в [3]. Матрицы ошибок (confusion matrix) применяют в тех случаях, когда необходимо представить формализованное описание качества применяемых аналитических моделей. Практически всегда для них уже рассчитаны численные параметры соответствий классов и объектов.

В работе применены следующие методики: метод опорных векторов, искусственные нейросети, деревья. Так как в настоящий момент нет эффективного инструмента, решающего поставленную задачу, то методы, которые комбинируют несколько способов (ансамбли), улучшают результаты и увеличивают эффективность анализа в сопоставлении с работой отдельных анализаторов.

Бутстрэп-агрегирование или бэггинг – это алгоритм, комбинирующий результаты классификации нескольких модулей.

Бустинг (усиление) – в отличие от бэггинга, работает следующим образом – для каждого вектора системы определяется вес. Классификаторы выполняют несколько итераций: после определения веса тестовых данных, на каждом следующем построении классификаторов отделяются данные, распознанные неверно. Конечное решение выносится голосованием, коэффициенты весов являются функцией точности анализаторов. В настоящий момент имеется множество методик их подбора, одним их самых эффективных остается алгоритм Adaboost.

Стекинг – алгоритм агрегации различных анализаторов. В отличие от двух предыдущих алгоритмов стекинг применяется для соединения модулей, работающих по разным алгоритмам. Тестовый набор обучающих данных делится на следующие категории – в первой анализаторы, работающие в системе, проходят обучение на 1-ом наборе данных, а тестируются на 2-м, затем, после проведения анализа результатов, будет спроектирован метаклассификатор, который принимает решение.

Приведем сравнительных анализ описанных выше алгоритмов с целью выявления лучшего решения для повышения точности анализа текстов. Для проведения опыта были выбраны: метод опорных векторов, нейросети и деревья решений. Для проведения эксперимента нужно выполнить следующие шаги:

– определить тестовые данные для классификации;

– обучить и протестировать классификаторы на тестовом наборе данных.

Support Vector Machines (SVM) является одним из лучших контролируемых алгоритмов машинного обучения для построения бинарного классификатора. Данный метод сводит обучение классификатора к решению эвристическими алгоритмами путем последовательного уменьшения целевой функции.

В ходе эксперимента были сформированы и обучены машины опорных векторов с различными ядрами: линейным (LINEAR), RBF, Полиномиальным (POLY), Сигмоидальным (SIGMOID).

Параметр гамма (используется в ядрах POLY/RBF/SIGMOID), контролирует, насколько чувствительна граница к выбросам. Данный параметр определяет, насколько далеко распространяется влияние обучающей выборки. Если параметр гамма имеет низкое значение, то это означает, что каждая точка имеет большой радиус влияния (имеет вес достаточный для влияния). И, наоборот, при высоких значениях гамма каждая точка имеет меньший радиус влияния, тем самым уменьшая вес точек отдаленных от пороговой гиперплоскости.

Параметр C (используется в задачах) имеет отношение к геометрии границы, он обеспечивает компромисс между гладкой границей решения (сложностью модели) и точностью классификации тестовой выборки. Фактически параметр C обратно пропорционален дисперсии: чем он выше, тем меньше будет запас у гиперплоскости, при условии что эта гиперплоскость лучше справится с правильной классификацией обучающей выборки. Меньшее значение C оставляет больший запас, даже если эта плоскость имеет меньшую точность классификации. Данный алгоритм неустойчив к выбросам, поэтому для эффективной работы алгоритма, необходимо управлять параметрами C и гамма, т.е. необходимо найти баланс между гиперплоскостью с наибольшим минимальным запасом и гиперплоскостью которая более точно классифицирует обучающую выборку. В случае линейно разделимой выборки алгоритм сводится к максимизации ширины запаса.

Результирующие данные, сведенные в таблицу 1, показывают, что наиболее эффективной стала машина опорных векторов, основанная на линейном ядре. Следует отметить, что машины этого типа более просты и быстрее обучаются.

Таблица 1 – Метрики качества анализа текстов с помощью машин опорных векторов с различными ядрами

Метрика точности	Машина опорных векторов			
	Линейное ядро	Гауссово ядро	Полиномиальное ядро	Сигмоидальное ядро
accuracy	0,988066667	0,9712	0,958	0,963333333
fallout	0,003419161	0,001535027	0,000279096	0,007326774
falseDiscovery	0,083333333	0,078571429	0,086956522	0,319148936
falseOmission	0,009020261	0,027853261	0,041861709	0,030331947

f1	0,857597454	0,544303797	0,117647059	0,448897796
inf	0,802260958	0,384692518	0,062595156	0,327501328
mark	0,907646406	0,893575311	0,871181769	0,650519116
miss	0,19431988	0,613772455	0,937125749	0,665171898
npv	0,990979739	0,972146739	0,958138291	0,969668053
Precision	0,916666667	0,921428571	0,913043478	0,680851064
sensitivity	0,80568012	0,386227545	0,062874251	0,334828102
specifity	0,996580839	0,998464973	0,999720904	0,992673226
TN	14282	14310	14328	14226
FP	49	22	4	105
FN	130	410	626	445
TP	539	258	42	224

Логистическая регрессия (Logistic Regression) – является вероятностным методом многоклассовой классификации. Метод использует логистическую функцию (сигмоида – для описания вероятности того, что выборка принадлежит одному из двух классов) для преобразования входного значения критерия признака в прогнозируемое значение. Задача логистической регрессии - оптимизировать параметр θ (формула 1) для достижения гипотезы правдоподобия $0 \leq h_\theta \leq 1$. В случае бинарной классификации, если $h_\theta < 0.5$, то класс определяется как класс 0, иначе - как 1. Подбор корректных параметров в алгоритме позволит уменьшить ошибки обучения и обеспечить высокую точность.

$$h_\theta(X) = \frac{1}{1 + e^{-\theta^T X}} \quad (1)$$

Скорость обучения алгоритма определяет, насколько быстро необходимо обучить алгоритм. Процесс обучения модели сводится к выбору формы сигмоида, которая наилучшим образом соответствует нашим данным. Для предотвращения переобучения модели выполняется L1-регуляризация или L2-регуляризация. L1-регуляризация способствует разрежённости функции, когда лишь немногие факторы равны нулю путем отбора наиболее важных факторов влияющих на результат. Он добавляет к функционалу потерь сумму модулей весов линейной модели. L2-регуляризация способствует появлению малых весовых коэффициентов модели путем запрета на непропорционально большие коэффициенты, но не способствует их точному равенству 0. Он добавляет к функционалу потерь сумму квадратов весов линейной модели с множителем λ.

Наивный байесовский классификатор (НБК) является наиболее простым вероятностным классификатором, использующим в своей основе теорему Байеса(1). Формула (2) позволяет рассчитать апостериорную вероятность $P(C|F_1, \dots, F_n)$ на основе $P(C)$ – априорной (безусловной) вероятности класса C, $P(F_1, \dots, F_n|C)$ – вероятности данных значений признаков при данном классе, $P(F_1, \dots, F_n)$ – априорной вероятности данных значений признаков. Классификатор предполагает, что наличие (или отсутствие) определенного признака класса не связано с наличием (отсутствием) какого-либо другого признака (модель независимых признаков).

$$P(C|F_1, \dots, F_n) = \frac{P(C)P(F_1, \dots, F_n|C)}{P(F_1, \dots, F_n)} \quad (2)$$

Для построения НБК требуется вычисление математического ожидания и дисперсии по каждому признаку. Предположение о независимости признаков позволяет перейти от оценки n-мерной плотности к оценке n одномерных плотностей. Все параметры модели (априорные

вероятности классов и распределение вероятностей признаков) могут быть аппроксимированы их относительными частотами в обучающей выборке. В случае обучения НБК на вещественных значениях (не категорийные признаки) для классификации необходимо использовать Гауссовское нормальное распределение.

$$P(x = m|C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_c^2}} e^{-\frac{(m-\mu_C)^2}{2\sigma_c^2}}, \quad (3)$$

где μ_C – математическое ожидание класса C, σ_c^2 – дисперсия класса C, m – критерий гипотезы.

Наивный байесовский классификатор объединяет модель независимых признаков с решающим правилом. Одним из общих решающих правил является выбор гипотезы, которая является наиболее вероятной, а классификатор определяется функцией (4).

$$Classificator(f_1, \dots, f_n) = argmax\, p(C = c) \prod_{i=1}^{n} P(F_i = f_i|C = c) \quad (4)$$

Выполненный эксперимент с тремя отмеченными выше классификаторами выявил в итоге результаты, приведенные в таблице 2. Максимальную эффективность выявил наивный байесовский классификатор. Он же оказался более результативным, чем машины опорных векторов.

Таблица 2 – Метрики качества анализа текстов с помощью логистической регрессии, НБК, MPL.

Метрика точности	Классификатор		
	Логистическая регрессия	Наивный байесовский классификатор	Многослойный персептрон
accuracy	0,988066667	0,993666667	0,989066667
fallout	0,003419161	0,001436472	0,005857980
falseDiscovery	0,083333333	0,019569472	0,081836327
falseOmission	0,009020261	0,005365574	0,005857980
f1	0,857597454	0,954740353	0,918163673
inf	0,802260958	0,928925645	0,912305693
mark	0,907646406	0,975064954	0,912305693
miss	0,194319880	0,069637883	0,081836327
npv	0,990979739	0,994634426	0,994142020
sensitivity	0,805680120	0,930362117	0,918163673
specifity	0,996580839	0,998563528	0,994142020
precision	0,916666667	0,980430528	0,918163673
TN	14282	13903	13916
FP	49	20	82
FN	130	75	82
TP	539	1002	920

Далее рассмотрим сравнение, указанных выше, методов обучения.

Boosting (усиление) – класс методов машинного обучения, основанный на идее комбинации простых классификаторов, полученных с помощью алгоритма обучения,

способного классифицировать лучше, чем случайное угадывание. Основная идея бустинга состоит в последовательном обучении слабых классификаторов, каждый из которых пытается исправить ошибку предыдущих предикторов. Основными алгоритмами бустинга являются AdaBoost и Gradient Boosting. Общий принцип работы AdaBoost схож с Random Forest, т.к. оба объединяют прогнозы, сделанные каждым деревом решений для принятия решения об окончательной классификации. Отличием двух ансамблевых методов является глубина дерева решений, и влияние прогноза сделанным каждым деревом – они по-разному влияют на окончательный прогноз.

Общий алгоритм состоит из следующих этапов:

– инициализация весов обучающей выборки. На данном этапе можно указать значимость элементов обучающей выборки. Изначально все элементы имеют одинаковый вес, и в сумме на каждом шаге выбора слабого классификатора должны быть равны 1.

– выбираем слабый классификатор h_i. Для каждого признака создаем дерево решений с глубиной 1, после чего сравниваем полученные прогнозы с фактическими метками обучающей выборки. Наилучшее деление, которое выполнило классификацию, будет является следующим деревом в лесу. Общая ошибка e_i слабого классификатора h_i складывается из суммы весов некорректно классифицированных образцов. Фактически наилучшее деление дерева решений обеспечивает минимизацию взвешенной ошибки e_i слабого классификатора h_i. Далее вычисляем вес α_i полученного слабого классификатора h_i. Чем больше значение α_i, тем большее влияние слабый классификатор h_i оказывает на целевую функцию $H(x)$.

– обновляем значение весовых коэффициентов обучающей выборки с учетом некорректно классифицированных образцов. Z_i – нормирующий параметр, равный сумме всех весовых коэффициентов i-го слабого классификатора.

– если $e_i \geq 0.5$, то останавливаем процесс, иначе повторяем процесс выбора слабого классификатора на обучающей выборке с новыми весовыми коэффициентами. Итоговая целевая функция имеет вид (5). В случае отсутствия веса α_i, то целевая функция сводится к простому голосованию, как Random Forest.

$$H(x) = sign\left(\sum_{i=1}^{M} \alpha_i h_i(x)\right) \quad (5)$$

Таблица 3 – Метрики качества анализа текстов с помощью различных методов обучения

Модель обучения	Классификатор	Точность	Время	
			Время обучения	Время анализа
Бэггинг	ИНС	55,38807	1,8931	0,0132
	SVM	49,93362	0,7865	0,0528
	ДПР	58,74345	0,0187	0,018
Бустинг	ИНС	56,85399	3,5343	0,0156
	SVM	56,01708	0,9185	0,0552
	ДПР	56,01906	0,0308	0,0216
Стэкинг	ИНС	50,09859	0,3069	0,0228
	SVM	50,09427	0,1804	0,0168
	ДПР	50,09886	0,0132	0,0204

Таким образом, наблюдается более высокая эффективность наивного байесовского алгоритма классификации. Это позволяет использовать его как для анализа нормативно-справочной информации, так и для других текстов, например, для детекции спама и мошеннических текстов. Однако, можно еще повысить точность классификации, объединяя классификаторы в ансамбли [4]. Такая система по аналогии с алгоритмом стекинга будет агрегировать различные анализаторы, что позволит опередить системы, созданные на базе бэггинга и бустинга.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарѐва" при финансовой поддержке Минобрнауки РФ 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. *Александров Э.Э, Егунова А.И., Воропаева М.А.* Методика обработки текстовых документов для организации информационного поиска с помощью запросов на естественном языке // Журнал «Научно-технический вестник Поволжья». –2018 –. №1 С.102-106.
2. *Немчинова Е.А., Плотникова Н.П., Федосин С.А.* Подготовка и обработка нормативно-справочной текстовой информации для классификации с помощью искусственных нейронных сетей // Журнал «Нелинейный мир». – 2019. – Том 17, №2 С.27–33.
3. Hossin M., Sulaiman M.N. A review on evaluation metrics for data classification evaluations // International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP). – 2015. – Том 5, №2.
4. *Ямашкин С.А.* Методическое и алгоритмическое обеспечение процесса анализа структуры земель на базе данных дистанционного зондирования: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.13.01, Саранск, 2016 – 186 с.

05.13.11

В.И. Хрусталев канд. техн. наук

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Абакан, khsukhsu@mail.ru

УЧЕТ ВИЗУАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В РЕЗУЛЬТАТООРИЕНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ

Рассматривается вопрос применения индекса визуальной сложности человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) в результатоориентированной модели взаимодействия оператора-человека с ЧМИ. Описаны основные действий оператора-человека при решении определенных профессиональных задач. Показан перечень ошибочных действий оператора-человека при реализации поставленных целей.

Ключевые слова: *человеко-машинные интерфейсы, результатоориентированный подход, индекс визуальной сложности.*

В настоящее время процесс реализации программного обеспечения в основном ориентирован на удобство взаимодействия пользователя с готовым программным продуктом через человеко-машинный интерфейс. Вопрос проектирования удобного и понятного ЧМИ является залогом успеха программного продукта в условиях конкуренции на рынке программного обеспечения. Также правильно спроектированный ЧМИ позволяет минимизировать количество ошибочных действий оператора-человека в процессе выполнения своих профессиональных обязанностей. На сегодняшний день реализовано большое количество методов и средств, позволяющих минимизировать вероятность появления ошибок от действий оператора-человека, которые он совершает в процессе решения задач управления технологическим процессом.

Для реализации качественного ЧМИ необходимо придерживаться общих эргономических требований и норм [1]:

- ГОСТ 21829-76: Система «человек-машина». Кодирование зрительнойинформации;
- ГОСТ 23000-78: Система «человек-машина». Пульты управления;
- ГОСТ 26387-84: Система «человек-машина». Термины и определения;
- ГОСТ 21480-76: Система «человек-машина». Мнемосхемы;
- ГОСТ 22902-78: Система "Человек-машина". Отсчетные устройстваиндикаторов визуальных;
- ГОСТ 20.39.108-85: Требования по эргономике, обитаемости итехнической эстетике;

Набор правил реализацииЧМИ регламентирован вследующих документах:

- ГОСТ Р 50923-96: Дисплеи. Рабочее место оператора. Общиеэргономические требования и требования к производственной среде.Методы измерения;
- ГОСТ Р 50949-2001: Средства отображения информацииндивидуального пользования. Методы измерений и оценкиэргономических параметров и параметров безопасности;
- ГОСТ Р МЭК 60073-2000: Маркировка и обозначение органовуправления,кодирование информации;
- ГОСТ Р 50948-2001: Средства отображения информацииндивидуального пользования. Общие эргономические требования итребования безопасности;
- ГОСТ Р 52324-2005: Часть2. Эргономические требования к дисплеям с плоскими панелями.

Проанализировав алгоритм действий оператора-человека при решении задачи управления и контроля технологическим процессом, возможновыявить слабые стороны действий оператора-человека при выполнении своих профессиональных обязанностей.

В большинстве случаев алгоритм действий по решению определенной задачи оператором человеком включает в себя пять этапов [2]:

1. обнаружение – количество времени, затраченное оператором-человеком на выявление признаков свидетельствующих о возникновении события и дальнейшего реагирования на него;

2. диагностика – выявления события которое произошло, проведение оценки ситуации и продумывание возможных негативных последствий, которые могут иметь отражение в технологическом процессе;

3. принятие решения – выбор наиболее оптимального набора процедур, которые позволяют алгоритм действий оператора-человека при возникновении того или иного события;

4. выполнение - реализация операторами набора действий, которые заложены в эксплуатационных процедурах;

5. отслеживание – тестирование корректности примененных действий, а также проверка полученных результатов и возможная корректировка.

Этапы, позволяющие выполнить определенные задачи, состоят из определенного набора структур, которые можно разделить на [3]:

1) перцептивные – возможность воспринимать информацию;

2) когнитивные – принятие решений, обработка информации;

3) сенсомоторные – взаимодействие с органами управления системы;

4) коммуникационные – возможность работы операторам между собой.

Под ошибкой оператора-человека понимается алгоритм действий, итогом которого является непредвиденный результат. Ошибочные действия оператора-человека можно разделить на четыре основных вида кратковременного отказа при выполнении действий, такие как:

1. функционально-алгоритмические – неправильное исполнение алгоритма операций логико-временного характера;

2. функционально-параметрические – погрешность в точности реализации операций;

3. функционально-временные – выполнение функций происходит вне временного графика;

4. функционально-целевые – некорректный выбор поставленной цели.

Каждый шаг алгоритма позволяющего решить определенную задачу оператором-человеком может содержать ошибочные действия. Как правило действия оператора-человека являются ошибочными по причине неудовлетворительных свойств личности и неудовлетворительной организации деятельности.

Для минимизации ошибочных действий оператора-человека с ЧМИ, возможно применение индекса сложности ЧМИ. Для его вычисления возможно использование алгоритма сжатия RLE(англ. run-lengthencoding) – алгоритм сжатия данных, позволяющий заменить повторяющиеся символы на один символ, а также число его повторов.Помимо алгоритма сжатия RLE существует алгоритм Deflate (алгоритм сжатия без потерь, использует принципы библиотеки сжатия Zlib) сочетающий в себе алгоритм LZ77 и Хаффмана. Zlib– является кроссплатформенным программным обеспечением находящемся в свободном доступе для разработчиков ПО и предназначается для сжатия данных.Структура Zlib заключается в обобщении алгоритма сжатия DEFLATE, применяемого в компрессоре данныхgzip [4].

Индекс сложности рассчитывается по формуле:

$$ID = \frac{1}{\mathrm{K}} * L$$

K – коэффициент сжатия матрицы, *L* – уровень сложности эксперимента.

Учет индекса сложности ЧМИ возможен при примени результатоориентированного подхода в процессе разработки ЧМИ. Результатоориентированнй подход аккумулирует в себе методы опроса с увлеченными IT-проектом лицами, исследования маркетологов,

компьютерное моделирование, использование сценариев в процессе проектирования, использование основного перечня принципов и шаблонов моделирования основных возможностей взаимодействия оператора с интерфейсом [5].

Таким образом, интеграция индекса сложности ЧМИ врезультатоориентированный подход позволит более качественно реализовывать программное обеспечение с интуитивно понятным и эргономически правильно спроектированным ЧМИ.

Список литературы

1. *Гришина Е.А., Власенко О.М.,* Эргономические аспекты проектирования человеко-машинного интерфейса. Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники с участием зарубежных партнеров. Москва. 2018. С. – 7-13;

2. *Алонцева Е.Н., Анохин А.Н.,* Принципы предотвращения человеческих ошибок при проектировании человеко-машинного интерфейса для управления технологическим объектом. Труды III Международной конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2018). Санкт-Петербург. 2018. С. – 202-210;

3. *Анохин А.Н., Острейковский В.А.* Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 344 с;

4. *Гольцова Е.А., Бакаев М.А.,* Анализ и прогнозирование визуальной сложности человеко-машинных интерфейсов. Управление развитием крупномасштабных систем MLSD’ 2018: материалы 11 междунар. конф., Москва, 1–3 окт. 2018 г.: в 2 т. – Москва: ИПУ РАН, 2018. – Т. 2. – С. 283–285.;

5. *Хрусталев В.И.,* Учет организационно-эргономических аспектов в рельтатоориентированной модели взаимодействия оператора-человека с человеко-машинным интерфейсом. Научно-технический вестник Поволжья. №10 2019г. – Казань: ООО «РашинСайнс», 2019. С. – 30-32.

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

05.13.18

[1]А.Н. Блазнов д-р техн. наук, А.С. Кротов, [1]М.Е. Журковский

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем химико-энергетических технологий
Сибирского отделения Российской академии наук,
Бийск, blaznov74@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ БАЛЛОНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Применена безмоментная модель проектирования баллона высокого давления (оболочек вращения), изготавливаемого из композиционных материалов (КМ) намоткой. Предложены расчетные выражения для определения оптимального угла укладки волокон и толщины слоя, для различных видов армирующего ровинга.

Ключевые слова: *схема армирования, композитный баллон, ровинг.*

В процессе проектирования оболочек вращения, подверженных осесимметричному нагружению (внутреннее или внешнее давление, а также равномерное по контуру растяжение или сжатие), часто руководствуются критерием отсутствия касательных напряжений в слоях, что позволяет учитывать низкую жесткость и прочность большинства современных КМ на сдвиг в плоскости армирования. В случае произвольного нагружения целевой функцией и критерием оптимальности традиционно служит условие минимума массы.

Оболочки вращения, изготавливаемые намоткой, конструктивно осесимметричны, т.е. толщина и структура КМ постоянны по контуру. Поэтому их целесообразно применять в качестве элементов конструкций с однородным напряженным состоянием, что обеспечило бы минимальные запасы прочности по объему оболочки. Вследствие непрерывности намотки материал стенки будет ортотропным в осях α, β (рисунок 1).

Тогда физический закон имеет вид [1, 2]:

$$N_\alpha = B_{11}\varepsilon_\alpha + B_{12}\varepsilon_\beta;$$
$$N_\beta = B_{12}\varepsilon_\alpha + B_{22}\varepsilon_\beta; \quad (1)$$
$$q_{\alpha\beta} = B_{33}\gamma_{\alpha\beta},$$

где N_α, N_β, $q_{\alpha\beta}$ – погонные усилия; ε_α, ε_β, $\gamma_{\alpha\beta}$ – относительные деформации;

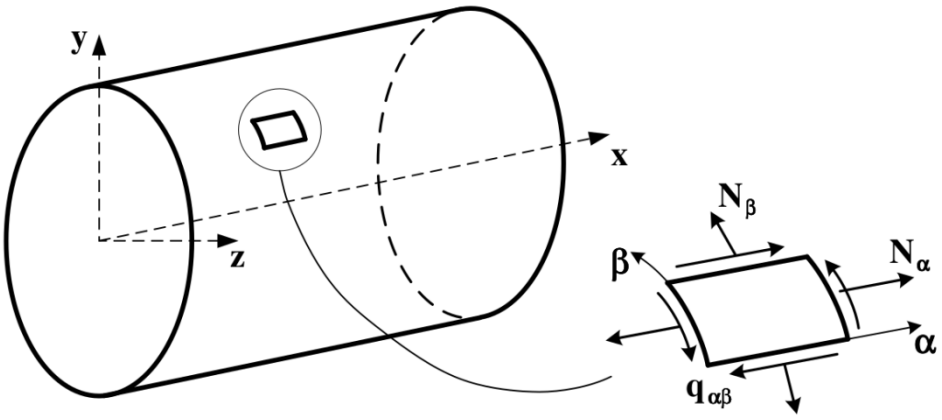


Рис. 1 – Расчетная схема оболочки [2]

B_{11}, B_{22}, B_{33}, B_{13} – коэффициенты жесткости пакета слоев:

$$B_{11} = \sum_{i=1}^{n} \delta_i \left[\overline{E}_{1i} cos^4 \varphi_i + \overline{E}_{2i} sin^4 \varphi_i + 2\overline{E}_{1i}\mu_{12i} sin^2 \varphi_i cos^2 \varphi_i + G_{12i} sin^2 2\varphi_i \right]$$

$$B_{22} = \sum_{i=1}^{n} \delta_i \left[\overline{E}_{1i} cos^4 \varphi_i + \overline{E}_{2i} cos^4 \varphi_i + 2\overline{E}_{1i}\mu_{12i} sin^2 \varphi_i cos^2 \varphi_i + G_{12i} sin^2 2\varphi_i \right]$$

$$B_{33} = \sum_{i=1}^{n} \delta_i \left[\left(\overline{E}_{1i} + \overline{E}_{2i} - 2\overline{E}_{1i}\mu_{12i} \right) sin^2 \varphi_i cos^2 \varphi_i + G_{12i} cos^2 2\varphi_i \right] \quad (2)$$

$$B_{12} = \sum_{i=1}^{n} \delta_i \left[\left(\overline{E}_{1i} + \overline{E}_{2i} - 4G_{12i} \right) sin^2 \varphi_i cos^2 \varphi_i + \overline{E}_{1i}\mu_{12i} \left(cos^4 2\varphi_i + cos^4 2\varphi_i \right) \right]$$

n – количество слоев;

δ_i, φ_i – толщина и угол укладки i-го слоя;

$\overline{E}_{1i}$, $\overline{E}_{2i}$ – приведенные модули упругости:

$\overline{E}_{1i} = \dfrac{E_{1i}}{1-\mu_{12i}\mu_{21i}}$, $\overline{E}_{2i} = \dfrac{E_{2i}}{1-\mu_{12i}\mu_{21i}}$; E_{1i}, E_{2i}, G_{12i}, μ_{12i}, μ_{21i} – упругие характеристики КМ i-го слоя (индекс 1 соответствует направлению вдоль волокна, 2 – поперек волокна).

На этапе проектирования структуры КМ для оболочек вращения, изготавливаемых намоткой, будем руководствоваться критерием отсутствия касательных напряжений во всех слоях пакета

$$\tau_{12i}=0, \quad (3)$$

что в целом аналогично армированию по траекториям главных напряжений. Запишем уравнение физического закона для i-го слоя КМ:

$$\sigma_{1i} = E_{1i}\left(\varepsilon_{1i} + \mu_{21i}\varepsilon_{2i}\right);$$

$$\sigma_{2i} = E_{2i}\left(\varepsilon_{2i} + \mu_{12i}\varepsilon_{1i}\right); \quad (4)$$

$$\tau_{12i} = G_{12i}\gamma_{12i},$$

где σ_{1i} – нормальное напряжение вдоль волокон, σ_{2i} – нормальное напряжение поперек волокон, ε_{1i}, ε_{2i}, γ_{12i} – относительные деформации вдоль (индекс 1) и поперек (индекс 2) волокон. Если приняты допущения о совместном деформировании слоев в пакете, то

$$\varepsilon_{1i} = \varepsilon_\alpha cos^2 \varphi_i + \varepsilon_\beta sin^2 \varphi_i + \gamma_{\alpha\beta} sin\varphi_i cos\varphi_i;$$

$$\varepsilon_{2i} = \varepsilon_\alpha sin^2 \varphi_i + \varepsilon_\beta cos^2 \varphi_i - \gamma_{\alpha\beta} sin\varphi_i cos\varphi_i; \quad (5)$$

$$\gamma_{12i} = \left(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha\right) sin 2\varphi_i + \gamma_{\alpha\beta} cos 2\varphi_i,$$

Деформации пакета в целом ε_α, ε_β, $\gamma_{\alpha\beta}$ можно найти из физических соотношений (1)

$$\varepsilon_\alpha = \frac{N_\alpha B_{22} - N_\beta B_{12}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}; \ \varepsilon_\beta = \frac{N_\beta B_{11} - N_\alpha B_{12}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}; \ \gamma_{\alpha\beta} = \frac{q_{\alpha\beta}}{B_{33}}. \quad (6)$$

Из критерия (3) с учетом зависимостей (4) - (6) получаем

$$tg2\varphi_i = \frac{q_{\alpha\beta}\left(B_{11}B_{22} - B_{12}^2\right)}{B_{33}\left[N_\alpha\left(B_{22} + B_{12}\right) - N_\beta\left(B_{11} + B_{12}\right)\right]}. \quad (7)$$

При намотке каждому слою толщиной δ_i с углом армирования $+\varphi_i$ соответствует слой той же толщины с углом армирования $-\varphi_i$. Уравнение (7) имеет четные корни $\pm\varphi$ в двух случаях: если $q_{\alpha\beta}=0$. При осесимметричном нагружении $q_{\alpha\beta}=0$, тогда условие оптимальности (3) можно упростить с учетом (5), (6):

$$\left(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha\right) sin 2\varphi_i = 0. \quad (8)$$

Возможны два решения уравнения (8)

$$\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha = 0; \quad (9)$$

$$sin 2\varphi_i = 0, \quad (10)$$

что позволяет установить схемы намотки, характеризующиеся отсутствием касательных напряжений в слоях пакета.

Рассмотрим подробнее вариант (9), который с учетом (6) можно записать как

$$N_\alpha\left(B_{22}+B_{12}\right)-N_\beta\left(B_{11}+B_{22}\right)=0. \qquad (11)$$

Отсюда следует, что усилия N_α и N_β должны быть ненулевыми и иметь один знак.

Следовательно, критерий армирования по траекториям главных напряжений (или $\tau_{12i}=0$) приемлем только на этапе проектирования композитных оболочек вращения, в которых соотношение усилий при эксплуатации не меняется, т.е. $N_\alpha/N_\beta=const$, как, например, для баллонов давления, где $N_\alpha/N_\beta=2$ [3].

Подставим формулы (2) в уравнение (11) и получим

$$\sum_{i=1}^{n}\delta_i\left[\overline{E}_{1i}\left(1+\mu_{21i}\right)\left(N_\alpha\, sin^2\varphi_i-N_\beta\, cos^2\varphi_i\right)+\overline{E}_{2i}\left(1+\mu_{12i}\right)\left(N_\alpha\, cos^2\varphi_i-N_\beta\, sin^2\varphi_i\right)\right]=0 \qquad (12)$$

Рассмотрим задачу проектирования структуры $[90/\pm\varphi]$ оболочки вращения из КМ, изготавливаемой спирально-поперечной намоткой. Так как при таком технологическом процессе материалы всех слоев одинаковые, то в качестве исходных данных примем следующие:

$\delta_1=\delta_1$; $\delta_2=\delta_3=\delta$; $\delta_\Sigma=\delta_1+2\delta$; $\varphi_1=\pi/2$; $\varphi_2=-\varphi_2=\varphi$;

$E_{1i}=E_1$; $E_{2i}=E_2$; $\mu_{12i}=\mu_{12}$; $\mu_{21i}=\mu_{21}$; $F_{1i}=F_1$; $F_{2i}=F_2$.

Тогда условие (12) можно привести к виду

$$\frac{\delta_1}{2\delta}=\frac{sin^2\varphi\left(N_\alpha-kN_\beta\right)-cos^2\varphi\left(N_\beta-kN_\alpha\right)}{N_\beta-kN_\alpha}\geq 0. \qquad (13)$$

При любом одинаковом знаке усилий N_α и N_β общим решением (13) относительно φ будет

$$tg^2\varphi<\frac{N_\beta-kN_\alpha}{N_\alpha-kN_\beta}, \text{ если } k\leq N_\alpha/N_\beta\leq 1/k. \qquad (14)$$

Таким образом, для определения трех проектных параметров оболочки со спирально-окружной намоткой δ_1, δ и φ имеются три соотношения: условие оптимальности (условие отсутствия касательных напряжений в слоях пакета) (13), ограничение на угол намотки φ (14). Кроме этого, необходимо помнить о том, что толщина стенки складывается из целого числа монослоев и не может быть любой, поэтому условие (13) можно записать так:

$$m_1+2m=m_\Sigma\geq\frac{1}{\delta_0}max\left\{\frac{\left(N_\alpha+N_\beta\right)}{F_1\left(k+1\right)};\frac{k\left(N_\alpha+N_\beta\right)}{F_2\left(k+1\right)}\right\}, \qquad (15)$$

где δ_0 – толщина монослоя КМ (ровинга, ленты, ткани и т.п.).

Приведем пример решения задачи для следующих условий: внутренний объем баллона V=2 л; внутренний диаметр баллона $D=2R$=110 мм; диаметр закладного фланца $d_0=2r_0$=23 мм; предельное внутреннее давление P=50 МПа; F_1 – предел прочности вдоль волокон КМ.

Если погонные усилия N_α и N_β выразить через внутреннее давление, то получится $N_\alpha=\frac{PR}{2}$; $N_\beta=PR$ [3], или, подставляя в (15) $N_\alpha=F_1\delta cos^2\varphi$; $N_\beta=F_1\left(\delta sin^2\varphi+\delta_1\right)$. Тогда толщина спиральной (δ) и окружной (δ_1) намотки $\delta=\frac{PR}{2F_1cos^2\varphi}$, $\delta_1=\frac{PR}{F_1}-\delta\, sin^2\varphi$.

В таблице 1 приведены итоговые значения суммарной толщины слоя для предельной прочности F_1 различных материалов для схемы намотки $[90/\pm\varphi]$

Таблица 1. Суммарная толщина слоя $\delta_\Sigma=\delta_1+2\delta$ (мм)

Материал	ρ, кг/м^3	F_1, МПа	E_1, ГПа	Угол намотки к меридиану оболочки в градусах					
				9	18	27	36	45	54
Органопластик	1380	1800	72	3,075	3,136	3,254	3,459	3,819	4,503
Стеклопластик	2100	1500	45	3,690	3,763	3,905	4,151	4,583	5,403
Боропластик	2000	1600	110	3,459	3,528	3,661	3,891	4,297	5,066
Базальтопластик	2000	1500	43	3,690	3,763	3,905	4,151	4,583	5,403
Углепластик	1500	1850	96	2,992	3,051	3,166	3,365	3,716	4,381

В таблице 1 приняты теоретические значения параметров для органопластика, боропластика по данным [4] и экспериментальные значения для стекло-, базальто- и углепластика по данным авторов [5, 6].

Наиболее оптимальным углом намотки φ_0 – является угол, при котором волокна касаются края технологического отверстия и не соскальзывают. Таким условиям, согласно теореме Клеро, соответствует геодезической линии [3] для $\frac{r_0}{R} = 0,209$ угол оптимальной намотки: $\varphi = arcsin\frac{r_0}{R} \approx 12^0$. Тогда толщины слоя КМ представлены в табл.2

Таблица 2. Толщина слоя КМ при оптимальном угле намотки $\varphi_0 \approx 12^0$ (мм)

Материал	ρ, кг/м^3	F_1, МПа	E_1, ГПа	δ	δ_1	$\delta_\Sigma=\delta_1+2\delta$
Органопластик	1380	1800	72	0,799	1,493	3,090
Стеклопластик	2100	1500	45	0,959	1,791	3,709
Боропластик	2000	1600	110	0,899	1,679	3,477
Базальтопластик	2000	1500	43	0,959	1,791	3,709
Углепластик	1500	1850	96	0,777	1,453	3,007

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Алтайского края в рамках научного проекта «Физико-химические основы создания и исследований полимерных композиционных материалов и разработка технологии изготовления композитных баллонов на их основе» № 18-48-220008-р_а

Список литературы

1. *Образцов И.Ф.* Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов / И.Ф. Образцов, В.В. Васильев, В.А. Бунаков. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.

2. *Карпов Я.С.* Проектирование оболочек вращения из композиционных материалов: учеб. пособие / Я.С. Карпов, П.М. Гагауз. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 64 с.

3. *Кузьмин М.А.* Прочность, жесткость, устойчивость элементов конструкций. Теория и практикум. Расчеты на прочность элементов многослойных композитных конструкций: учеб. пособие / М.А. Кузьмин, Д.Л. Лебедев, Б.Г. Попов; под ред. В. Л. Данилова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012. – 341 с.

4. Композиционные материалы: справ. / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

5. *Журковский М.Е.* Исследование механических свойств намоточных гибридных полимерных композиционных материалов / М.Е. Журковский, З.Г. Сакошев, А.Н. Блазнов и др. // Южно-Сибирский научный вестник. – 2018. – № 3(23). – С. 39-43.

6. *Самойленко В.В.* Совершенствование рецептурно-технологических параметров изготовления намоточных композитов на основе эпоксиангидридных матриц, армированных базальтовыми и стеклянными волокнами: дисс…канд. техн. наук. – 05.17.06 / Самойленко Вячеслав Владимирович. – Бийск, 2018. – 140 с.

05.13.18

Т.Н. Бобылева канд. физ.-мат. наук

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт фундаментального образования, кафедра прикладной математики, Москва, bobylevatn@mgsu.ru

О ВЫЧИСЛЕНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕОДНОРОДНЫХ УПРУГО-ПОЛЗУЧИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

В статье рассматривается цилиндрический полый стержень со слоистой структурой вдоль радиуса. Слои составлены из изотропных упруго-ползучих материалов. Дано аналитическое решение задачи о напряженно-деформированном состоянии такого стержня. Жесткости на растяжение и изгиб магут быть представлены в аналитической форме для различных видов нагружения стержня при наличии радиальной симметрии.

Ключевые слова: *усреднение, ползучесть, слоистый стержень.*

Задачи для изделий из разнородных материалов, в частности труб, возникают во многих областях строительства. Для улучшения их прочностных характеристик при изготовлении используется несколько слоев различных материалов, которые вместе обеспечивают высокую герметичность и прочность. Слои часто значительно различаются по жесткости. Подобная неоднородность является причиной их специфического поведения при деформации. Метод асимптотического усреднения превращает такой материал в однородный, который описывается усредненными уравнениями. Этот метод усреднения изложен, например, в [1-2]. Несколько примеров его применения приведены в [3-5]. Чтобы найти эффективное поведение таких структур, необходимо решить конечное число краевых задач на одном периоде стержневой структуры, а именно, клеточную задачу.

Обычно напряженно-деформированное состояние композиционных материалов изменяется в течение длительных интервалов времени, то есть материалы обладают свойством ползучести. Это следует учитывать, поскольку ползучесть влияет на перераспределение напряжений. В [6] представлены основы теории наследственной механики Больцмана-Вольтерра для процессов, в которых состояние механической системы зависит от всей истории действий, выполняемых над ней.

В этой статье мы используем методы и результаты вышеупомянутых исследований для анализа напряженно-деформированного состояния стержня, состоящего из слоев упруго-ползучих материалов. Наличие радиальной симметрии и предположение о ядрах ползучести позволяют получить аналитические представления для соответствующих краевых задач модели упруго-ползучей модели.

Рассмотрим краевую задачу для системы упругости [7], а именно уравнения мгновенного равновесия

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(A_0^{ij}\left(\frac{x}{\varepsilon},t\right)\delta(t) + A^{ij}\left(\frac{x}{\varepsilon},t\right)\right) * \frac{\partial}{\partial x_j} u_\varepsilon = 0 \qquad (1)$$

и следующие граничные условия: боковая поверхность свободна от нагрузок, один торец S_0^ε жестко закреплен, к другому S_1^ε приложена нагрузка:

$$n_1\left(A_0^{1j}\left(\frac{x}{\varepsilon},t\right)\delta(t) + A^{1j}\left(\frac{x}{\varepsilon},t\right)\right) * \frac{\partial}{\partial x_j} u_\varepsilon \Big|_{S_1^\varepsilon} = F\left(\frac{x_2}{\varepsilon},\frac{x_3}{\varepsilon}\right), \qquad (2)$$

где $A_0^{ij}\left(\frac{x}{\varepsilon},t\right)$ - тензор упругости с компонентами $a_{0,kl}^{ij}, 1 \le i,j,k,l \le 3$, удовлетворяющий стандартным условиям симметрии, $A^{ij}\left(\frac{x}{\varepsilon},t\right)$ - тензор ползучести с компонентами, зависящий

от времени t, а именно $a_{kl}^{ij} = d_{kl}^{ij} e^{-\alpha_{kl}^{ij} t}$, для каждого из материалов, из которых состоит композит, $n(x) = (n_1(x), n_2(x), n_3(x))^T$ - внешняя нормаль по (T операция транспонирования), $u_\varepsilon = (u_{\varepsilon,1}, u_{\varepsilon,2}, u_{\varepsilon,3})^T$ - вектор перемещений, $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака, операция $A_0^{ij}\left(\frac{x}{\varepsilon}, t\right)\delta(t)$ эквивалентна умножению на $A_0^{ij}\left(\frac{x}{\varepsilon}, t\right)$, $F\left(\frac{x_2}{\varepsilon}, \frac{x_3}{\varepsilon}\right)$ является полем внешних сил, приложенных к торцу стержня. Символ * обозначает оператор свертки:

$$\left(d_{ijkh}(x,t) * \frac{\partial u_j}{\partial x_k}\right) = \int_0^t d_{ijkh}(x, t-\tau)\frac{\partial u_j(x,\tau)}{\partial x_k} d\tau \tag{3}$$

Предположим, что распределение упругих свойств материала в ячейке периодичности зависит только от радиуса стержня. Также стержень представляет собой полый цилиндр, состоящий из двух (или более) слоев из однородных изотропных упруго-ползучих материалов. Тогда элементы матриц будут определяться константами Ламе и параметрами ползучести

$$a_{0,kl}^{ij} = \lambda\delta_{ij}\delta_{kh} + \mu(\delta_{ik}\delta_{jh} + \delta_{ih}\delta_{jk}),$$

$$d_{ijkh} = -(D_v(t) - \frac{1}{3}D_{sh}(t))\delta_{ij}\delta_{kh} - \frac{1}{2}D_{sh}(t)(\delta_{ik}\delta_{jh} + \delta_{ih}\delta_{jk}) \tag{4}$$

Пусть амплитуда объемного ядра ползучести $D_v(t)$ пропорциональна амплитуде сдвигового $D_{sh}(t)$ с коэффициентом пропорциональности k_i для каждого слоя, то есть $(D_v)_i = k_i(D_{sh})_i$, $k_i = \text{const}$, $k_i > 0, (i = 1,2)$. Далее, D_{sh} обозначается через D, и $D = de^{-\alpha t}$, как мы указали выше, также для каждого слоя.

Обозначим $L = \lambda + 2\mu - \frac{d\left(k+\frac{2}{3}\right)}{p+\alpha}, M = \mu - \frac{1}{2(p+\alpha)}d, N = \lambda - \frac{d\left(k-\frac{1}{3}\right)}{p+\alpha}.$

После применения преобразования Лапласа к уравнениям (1) матрицы $\tilde{A}^{ij}\left(\frac{r}{\varepsilon}, p\right)$, $(1 \le i, j \le 3)$ в цилиндрической системе координат будут иметь вид, подобный первой из них $\tilde{A}^{11}\left(\frac{r}{\varepsilon}, p\right)$ (константы Ламе и параметры ползучести зависят только от переменной *r)*:

$$\tilde{A}^{11}\left(\frac{r}{\varepsilon}, p\right) = \begin{pmatrix} Lr^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & Mr^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & Nr^{-1} \end{pmatrix}.$$

Далее эти матрицы используются, как следует из теории усреднения, при решении краевых задач для дополнительных матричных функций [1]. В цилиндрических координатах первый столбец дополнительной матрицы-функции $\tilde{N}_1$ с компонентами $n_{11}^1, n_{21}^1, n_{31}^1$ [7] удовлетворяет следующим уравнениям и граничным условиям:

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{L}{r}\cdot\frac{d(r\,n_{11}^1)}{dr}\right) = -\frac{1}{r}\frac{dL}{dr}, \quad \left[L\frac{dn_{11}^1}{dr} + N\frac{n_{11}^1}{r}\right]_{\substack{r=r_o \\ r=R_0}} = -\frac{L}{r}\Big|_{\substack{r=r_o \\ r=R_0}},$$

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{L}{r}\cdot\frac{d(r\,n_{21}^1)}{dr}\right) = -\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(\frac{L}{r}\right), \quad \left[M\frac{dn_{21}^1}{dr} - M\frac{n_{21}^1}{r}\right]_{\substack{r=r_o \\ r=R_0}} = -\frac{L}{r^2}\Big|_{\substack{r=r_o \\ r=R_0}}, \tag{5}$$

$$\frac{d}{dr}\left(Mr\frac{d\,n_{31}^1}{dr}\right) = -\frac{1}{r}\frac{d(Nr)}{dr}, \quad \left[M\frac{dn_{31}^1}{dr}\right]_{\substack{r=r_0 \\ r=R_0}} = -N\Big|_{\substack{r=r_o \\ r=R_0}}.$$

В результате решение сводится к следующей краевой задаче:

$$\frac{d}{dr}\left(A(r)\frac{dw}{dr}\right)=\frac{d}{dr}F_1(r)+F_2(r),\quad \left[\frac{dw}{dr}+u(r)w-g(r)\right]_{\substack{r=r_o\\ r=R_0}}=0\cdot$$

Пусть оператор Π является оператором интегрирования: $(\Pi f)(r)=\int\limits_{r_o}^{r} f(\tau)d\tau.$ Введем следующие обозначения

$$\Phi(r)\equiv\frac{1}{A(r)}\left[F_1(r)+\Pi\left(\frac{F_2(r)}{A(r)}\right)\right],\ X(r)\equiv\frac{1}{A(r)}+a(r)\Pi\left(\frac{1}{A(r)}\right),$$

$$Z(r)\equiv g(r)-\Phi(r)-a(r)\Pi\left(\frac{\Phi(r)}{A(r)}\right),$$

и пусть $\tilde{c}_1,\tilde{c}_2$ - решение следующей линейной системы линейных уравнений

$$\begin{cases}\tilde{c}_1X(r_0)+\tilde{c}_2a(r_0)=Z(r_0)\\ \tilde{c}_1X(R_0)+\tilde{c}_2a(R_0)=Z(R_0)\end{cases}.$$

Тогда имеем

$$\begin{cases}w(r)=\Pi[\Phi(r)]+\tilde{c}_1\Pi\left(\dfrac{1}{A(r)}\right)+\tilde{c}_2\\ \dfrac{dw}{dr}=\Phi(r)+\dfrac{\tilde{c}_1}{A(r)}\end{cases}. \qquad (6)$$

Нетрудно показать, что построение решения исходной задачи с соответствующими граничными условиями при фиксированном значении параметра *p* можно свести к построению решения краевой задачи (6). В наших предположениях решения систем для вспомогательных матриц [7], полученные в изображениях Лапласа, являются дробно рациональными функциями от комплексного параметра *p,* следовательно, обратное преобразование Лапласа легко выполняется в аналитической форме.

Построенные таким образом аналитические выражения позволяют рассчитать величину деформаций ползучести стержня при длительных нагрузках на его торце и, в частности, сравнить величину указанной деформации при продольной и поперечной нагрузке на торец с одинаковыми по абсолютным значениям силовыми полями.

Эти результаты могут быть использованы для выбора параметров сложной слоистой структуры стержня с целью минимизации величины ползучих деформаций.

Список литературы

1. *Олейник О.А., Иосифьян Г.А., Шамаев А.С.* Математические задачи теории сильно неоднородных сред. - М.: Из-во МГУ, 1990. - С. 94-106.

2. *Бардзокас Д.И., Зобнин А.И.* Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры. - М.: Едиторал УРСС, 2003. - С. 237-250.

3. *Bobyleva T.N.* Method of calculation of stresses in the layered elastic-creeping arrays // MATEC Web Conf. – 2016. Vol. 86. - P. 01024.

4. *Bobyleva T.N., Shamaev A.S.* Method of approximate calculation of the stress tensor in layered elastic-creeping environments // IFAC-PapersOnLine. – 2018. Vol. 51, № 2. P. 138-143.

5. *Шамаев А.С., Шумилова В.В.* Усреднение уравнений состояния для гетерогенной среды, состоящей из слоев двух ползучих материалов // Тр. МИАН. – 2016. - Т. 295. - С. 229–240.

6. *Работнов Ю.Н.* Элементы наследственной механики твердых тел. - М.: Наука, 1977. - С. 97-104.

7. *Lukkassen D., Meidell A., Piatnitski A. L., Shamaev A. S.* Twisting a thin periodically perforated elastic rod // Applicable Analysis. – 2009. – Vol. 88, №10. P. 1563-1577.

05.13.18

И.И. Воротынцева канд. физ.-мат. наук, Н.О. Марценюк

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
кафедра физики и строительной аэродинамики,
Москва, VorotyntsevaII@ mgsu.ru, MarcenjukNO@mgsu.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОБРАТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

В результате численного моделирования выявлены параметры автофазного устройства, позволяющие существенно повысить коэффициент полезного действия режима обратного преобразования. Показано, что продлить процесс преобразования энергии и снизить величину остаточной ВЧ мощности можно соответствующим выбором величины и формы напряженности электростатического поля. Найдены оптимальные режимы устройства, обеспечивающие максимальное преобразование ВЧ мощности в мощность постоянного тока на минимальной длине автофазной секции.

Ключевые слова: *численное моделирование, оптимизация, преобразование энергии, автофазировка.*

Рассмотрению условий колебания крупных частиц заряда, захваченных продольной составляющей поля бегущей электромагнитной волны большой амплитуды в продольно-ориентированном статическом электрическом поле посвящено большое число работ [1-4]. При этом, естественно, возникает проблема повышения эффективности автофазных приборов посредством выбора соответствующих значений электронных и электродинамических параметров [5,6]. Если обратиться к выводам [7] об обмене электронов-осцилляторов с полем ВЧ волны в режиме обратного преобразования (ОП), то станет очевидным, что условие получения высокого КПД может быть обеспечено при определенном соотношении между величинами напряженности ВЧ и статического электрических полей в пространстве взаимодействия (ПВ). С целью выявления оптимальных параметров устройства, обеспечивающих максимум преобразованной ВЧ мощности, была разработана и численно реализована динамическая модель ЛБВО. Математическая модель процесса взаимодействия в ЛБВО включает в себя уравнения движения, уравнение возбуждения и уравнение Пуассона и может быть использована для численного моделирования динамики электронного пучка с полем ВЧ волны в трехмерном пространстве взаимодействия, в том числе для систем с автофазными электронными потоками и статическими полями произвольной конфигурации [8]. Модель позволяет учитывать влияние радиальной и азимутальной составляющих ВЧ-поля на выходные характеристики ЛБВ. Применяемая методика решения уравнения Пуассона и проведенная оптимизация параметров численной модели позволяют уменьшить затраты временных ресурсов при сохранении вычислительной точности [9].

Численное моделирование физических процессов в автофазной ЛБВ на основе трехмерной модели показывает, что, несмотря на более сложную зависимость от параметров задачи, основные закономерности захвата и устойчивого энергообмена между электронными сгустками, ВЧ волной и электростатическим полем соответствуют аналитическим оценкам. Результаты численного моделирования подтверждают, что уровень преобразуемой ВЧ мощности и длина автофазной секции (АС), на которой достигается максимальное падение амплитуды ВЧ волны, существенно зависят от напряженности электростатического поля. Так для $|E_{ст}|$=180 В/см максимальное падение амплитуды достигается уже на длине l=0.25 м. При $l \geq 0.25$ м процесс обратного преобразования прекращается, ввиду нарушения захвата и

распада сгустка. Соответственно, максимальный КПД обратного преобразования достигается на длине *l*=0.25 м и дальнейшее увеличение АС при заданном значении напряженности статического поля теряет смысл, т.к. ведет к снижению КПД устройства. Численное моделирование выявило, что оптимум по КПД смещается в сторону больших длин АС с уменьшением абсолютной величины тормозящего поля, поскольку при фиксированном уровне входного сигнала для меньших значений *E*ст нарушение состояния захвата происходит медленнее.

Уровень входной мощности зависит от условий реализации транспортировки протяженного электронного пучка в пространстве взаимодействия. При этом верхний предел ВЧ мощности, преобразуемый в постоянную, определяется условиями сохранения финитного движения сгустка и волны, которое нарушается в результате уменьшения ВЧ мощности, распространяющейся в замедляющей системе (ЗС).

Таблица – Оптимизация энергообмена

li \ *E*ст	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	*F*вх
0.15	0.12	0.15	0.26	0.39	0.61	0.87	1.03	1.16	1.52	1.77	2,91
0.175	0.15	0.21	0.38	0.42	0.77	1.12	1.47	1.54	1.79	-	
0.20	0.18	0.27	0.45	0.58	0.92	1.33	1.64	1.78	-	-	
0.225	0.21	0.32	0.57	0.74	1.23	1.57	1.87	-	-	-	
0.275	0.24	0.41	0.69	0.92	1.44	1.79	-	-	-	-	
0.30	0.26	0.49	0.81	1.12	1.61	1.85	-	-	-	-	
0.35	0.29	0.56	0.89	1.27	1.65	-	-	-	-	-	
0.375	-	0.61	0.91	-	-	-	-	-	-	-	
0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Полученные в результате моделирования оптимизированные значения параметров устройства для нескольких значений длин АС и протяженности статического поля в порядке возрастания Δ*Fmax* приведены в таблице. Здесь Δ*Fmax* = *F*вх- *F*вых абсолютное падение амплитуды ВЧ волны, соответствующее заданному значению напряженности электростатического поля. Все величины нормированные. Из таблицы можно выбрать оптимальный режим устройства, который обеспечит максимальное преобразование ВЧ мощности в мощность постоянного тока на минимальной длине АС. Прочерки в таблице соответствуют прекращению процесса преобразования энергии в момент нарушения состояния захвата электронного сгустка, и дальнейшее наращивание АС теряет смысл.

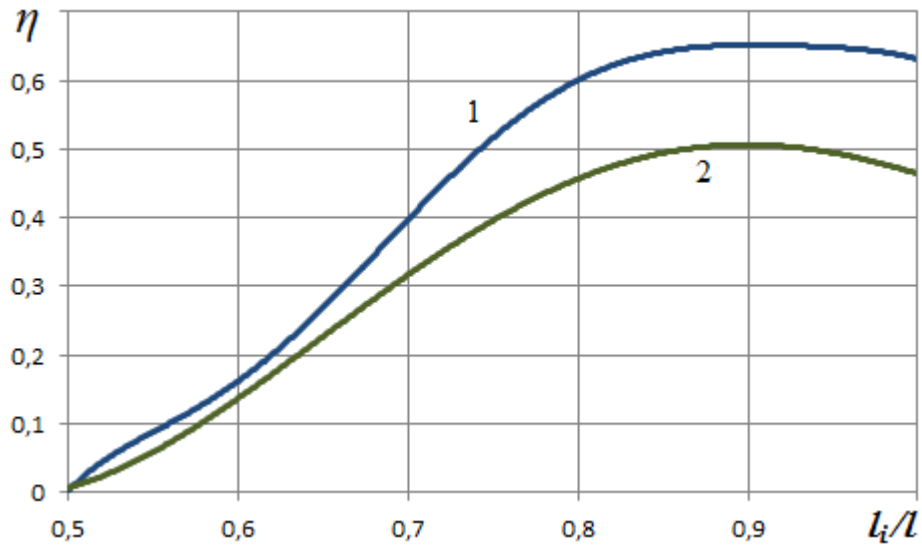


Рис. 1- Зависимость КПД от длины АС для *E*ст=*βz*
(1 - *β*=-0.3; 2 - *β*=-0.5)

Продлить процесс преобразования энергии и снизить величину остаточной ВЧ мощности можно соответствующим выбором величины и формы напряженности тормозящего поля. Расчеты, проведенные с линейным профилем электростатического поля, показывают, что КПД может быть существенно увеличен по сравнению с Eст=*const*. На рис. 1 приведена зависимость КПД обратного преобразования вдоль длины ПВ для Eст=βz при различных значениях угла наклона β. Выбором соответствующего угла наклона можно добиться значительного уровня преобразуемой ВЧ мощности. Однако, при фиксированном уровне мощности подаваемой на вход АС дальнейшее увеличение $|\beta|$, как показали результаты моделирования, нежелательно, поскольку обмельчание потенциальной ямы идет недостаточно быстро по сравнению изменением тормозящего поля, что несколько снижает расчетный КПД.

Таким образом, результаты численного моделирования на трехмерной модели подтверждают выводы [7] о существенной зависимости процесса ОП от величины Eст и уровня входной ВЧ мощности. Полученное значение КПД 65% на длине l=0.15 м несколько ниже, по сравнению с расчетным в [7], что объясняется учетом влияния поля пространственного заряда и динамической расфокусировкой сгустка. Проведенные расчеты позволяют выбрать оптимальные параметры устройства, обеспечивающие длительное устойчивое удержания сгустка в состоянии захвата, малое значение токооседания на ЗС при достаточно высоком КПД обратного преобразования.

Список литературы

1. *Белявский Е.Д.* Условия устойчивости захваченных электромагнитной волной электронных сгустков в продольном статическом электрическом поле// Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1983. Т. 26. №10. С. 1312-1314.

2. *Гинзбург Н.С., Манькин И.А., Сергеев А.С.* Режим захвата частиц синхронной волной как метод повышения к.п.д. приборов СВЧ// Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1988. С. 7-19.

3. *Pershing D. et al.* Demonstration of a wideband 10-kW Ka-band sheet beam TWT amplifier // IEEE Trans. Electron Devices. Vol. 61. № 6. 2014. PP. 1637-1642.

4. *Pasour J. et. al.* Demonstration of a multikilowatt, solenoidally focused sheet beam amplifier at 94 GHz // IEEE Trans. Electron Devices. Vol. 61. № 6. 2014. PP. 1630-1636.

5. *Gamzina D., Barnett L.R., Ravani B., Luhmann N.C.* Mechanical Design and Manufacturing of W-Band Sheet Beam Klystron // IEEE Trans. Electron Devices. Vol. 64. № 6. 2017. PP. 2675-2682.

6. *Ruan C. et. al.* Theoretical and experimental investigation on intense sheet electron beam transport with its diocotron instability in a uniform magnetic field // IEEE Trans. Electron Devices. Vol. 61. № 6. 2014. PP. 1643-1650.

7. *Воротынцева И.И., Кашинцева В.Л.* Автофазный преобразователь СВЧ энергии// Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 6. С. 145-148.

8. *Vorotyntseva I.I., Martsenyuk N.O.* The numerical modelling of dynamic processes in autophase electron beams// Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 4 (19). С. 4.

9. *Воротынцева И.И., Аникин А.В.* Минимизация численных погрешностей в динамических моделях крупных частиц// Вестник МГСУ. 2011. № 4. С. 294.

05.13.18

А.В. Денискин, Е.А. Немчинова, С.А. Федосин канд. техн. наук,
Н.П. Плотникова канд. техн. наук

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, E-mail: sasha0738@mail.ru, nemchinova.len@yandex.ru, fedosinsa@mrsu.ru,
linsierra@yandex.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье представлен процесс обучения свёрточной нейронной сети для классификации нормативно-справочной информации. Продемонстрирован подбор параметров сети для достижения наибольшей точности классификации.

Ключевые слова: *машинное обучение, искусственная нейронная сеть, свёрточная нейронная сеть, нормативно-справочная информация, Keras.*

Введение

В процессе анализа и обработки текстовой информации возникает потребность в ее автоматической классификации. Это необходимо для быстрого и удобного поиска требующихся данных, возможности ориентироваться в постоянно растущем объеме информации. Классификация текстов может производиться по различным признакам и характеристикам.

Одним из направлений, остро нуждающихся в классификации текстов, является обработка документации и управление нормативно-справочной информацией.

Методы машинного обучения хорошо зарекомендовали себя при решении задач такого типа. В рамках данной статьи для распределения по классам будет применена свёрточная нейронная сеть, которая способна выделить значимые признаки элементов и эффективно классифицировать текстовые записи [1].

В рамках данной статьи решается следующая задача. Имеется таблица, содержащая 667 записей наименований некоторых товаров. Эти записи разбиты на 34 класса. Количество элементов в классах колеблется от 2 до 30 (рисунок 1).

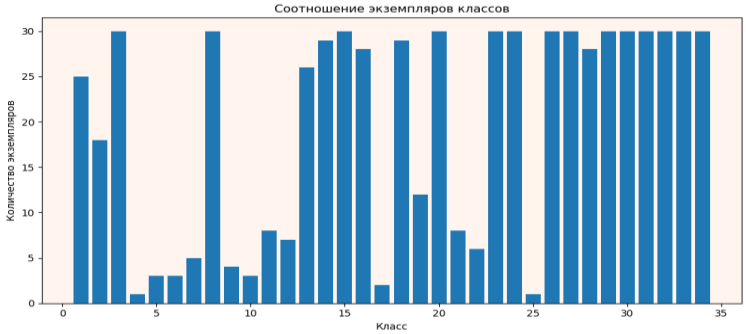


Рис. 1 – Соотношение классов в обучающей выборке

Требуется построить и обучить свёрточную нейронную сеть, способную классифицировать описанные данные с высокой степенью точности.

В качестве языка программирования был выбран язык Python версии 3.6. Он представляет собой высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Python широко применяется в решении задач машинного обучения. На Python написано большое количество

библиотек, предоставляющих удобный и надежный функционал для реализации искусственных нейронных сетей и их обучения. Одной из таких библиотек является Keras [2].

Архитектура сверточной нейронной сети будет иметь следующий вид:

– входной слой;

– слой свертки (convolution layer);

– слой субдискретизации (max pooling);

– полносвязный скрытый слой;

– выходной слой.

Для защиты от переобучения сети основные слои будут разделены дополнительными слоями (dropout). Их суть заключается в том, что в процессе обучения случайным образом выбрасывается некоторое количество нейронов, которые не участвуют в дальнейших вычислениях.

В качестве функции активации внутренних слоев для задачи классификации текстов будет использоваться выпрямленная линейная функция «ReLU», для выходного слоя – функция «Softmax».

В качестве входного слоя используется Embedding-слой. Он осуществляет перевод входных данных в векторное пространство, сопоставляя каждому слову входного текста вектор фиксированной длины. Требуется, чтобы входные данные были целочисленными, то есть каждое слово должно быть представлено уникальным целым числом. Для выполнения данного условия наименования товаров перед подачей на входы нейронной сети проходили обработку функцией кодировки Keras hashing trick, которая выполняет хэширование строки [3].

Теперь произведем подбор гиперпараметров построенной нейронной сети. В качестве изменяемых характеристик рассмотрим следующие:

– длина входного текста;

– коэффициент прореживания;

– количество фильтров сверточного слоя.

При анализе каждого параметра, будет изменяться только этот параметр, остальные будут зафиксированы. Это позволит подобрать набор параметров, при которых достигается максимальная точность сети [4].

Ниже приведены результаты исследований.

Длина наименований находилась в пределах [8; 40] с шагом в 4 слова. Результат обучения нейронной сети представлен на рисунке 2.

Лучшие результаты достигаются при длине входного текста 24.

Для количества фильтров сверточного слоя также был определен вектор значений [8, 16, 32, 64, 128]. Результаты обучения нейронной сети представлены на рисунке 4.

Как видно из графиков, лучшие результаты достигаются при количестве фильтров 32.

По результатам проведенных исследований была построена сверточная нейронная сеть со следующим набором параметров, оптимизированным для решения задачи классификации нормативно-справочной информации: длина входного текста 24, значение коэффициента прореживания 0.05, количество фильтров сверточного слоя 32. Достигнутая точность – порядка 75% на тестовой выборке, что является довольно хорошим результатом, учитывая небольшой размер выборки при большом количестве классов, а также значительный дисбаланс в размерах классов.

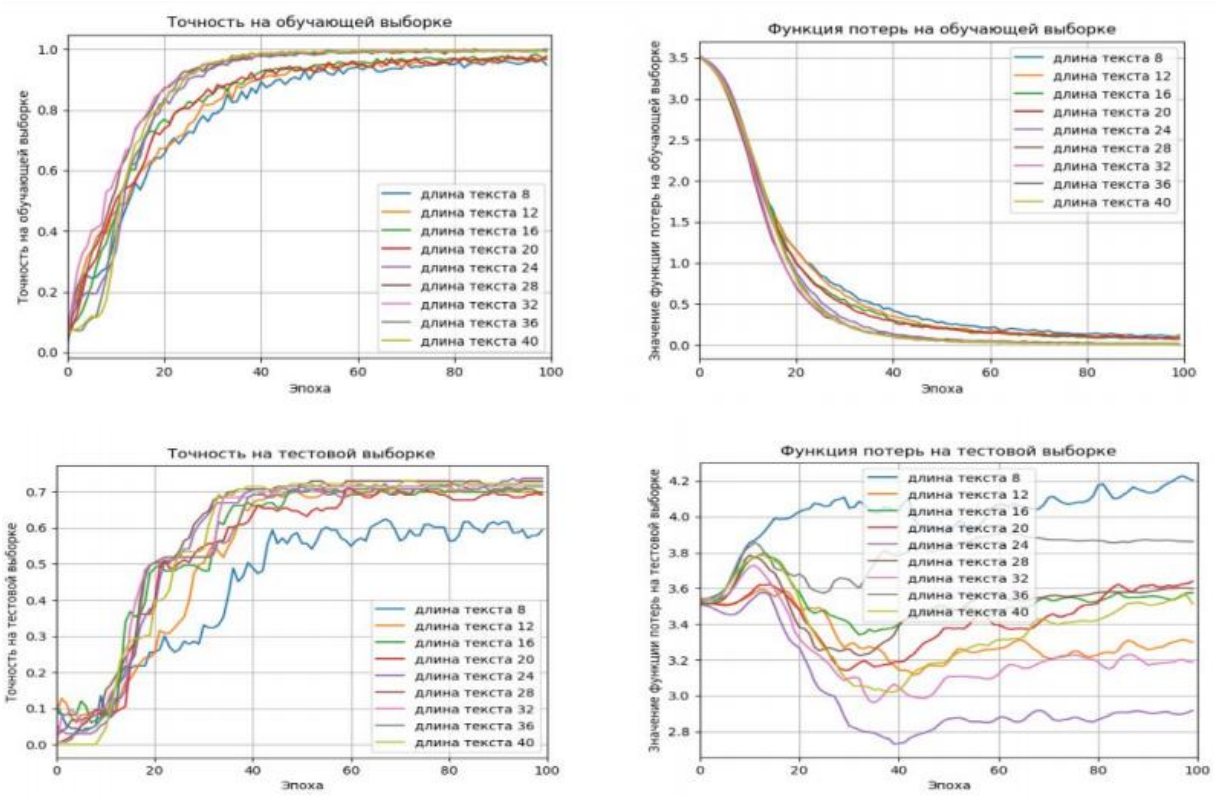


Рис. 2 – Точность и потери при изменении длины входного текста

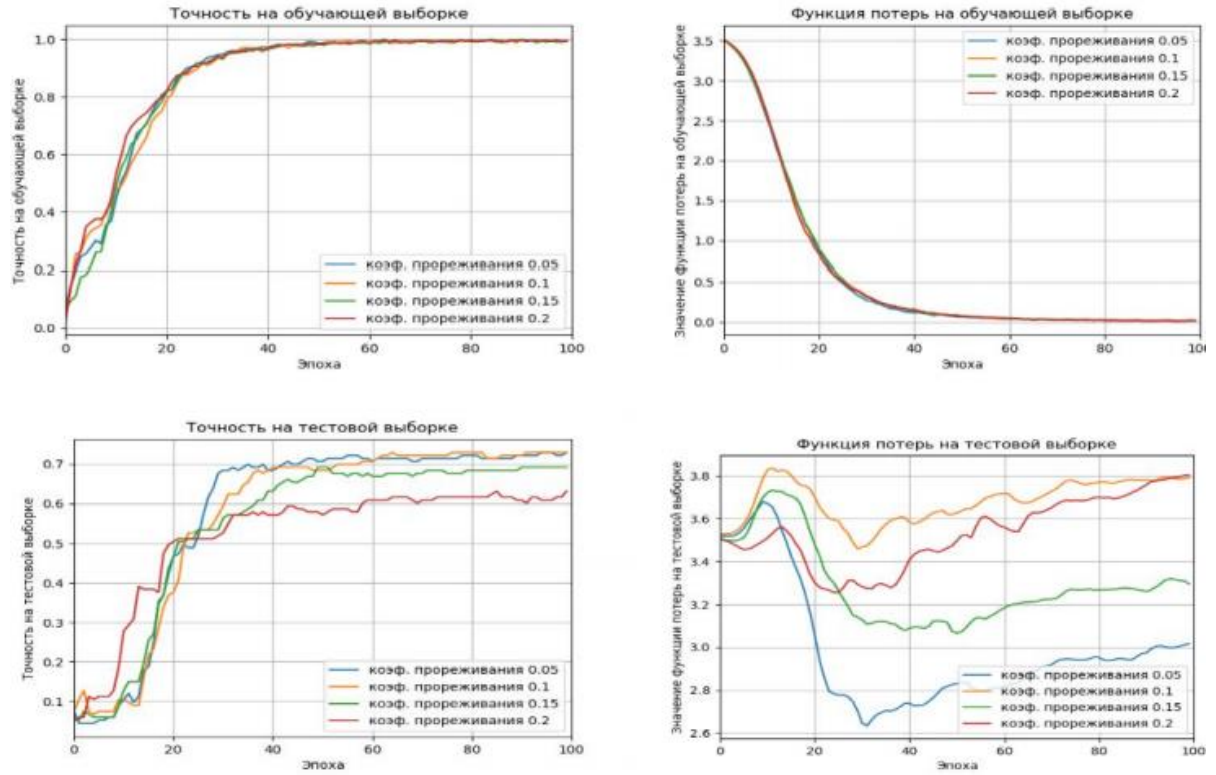


Рис. 3 – Точность и потери при изменении коэффициента прореживания

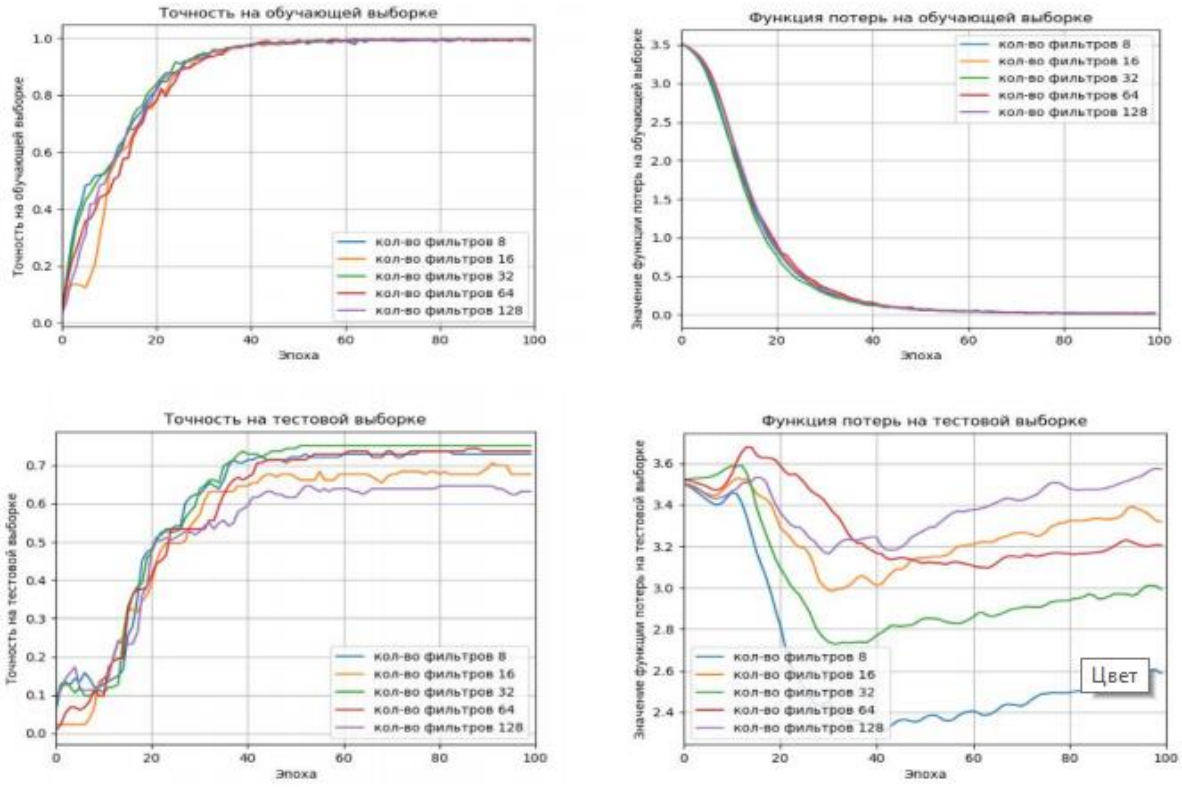


Рис. 4 – Точность и потери при изменении количества фильтров

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва" при финансовой поддержке Минобрнауки РФ 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. *Шолле Ф.* Глубокое обучение на Python / Франсуа Шолле – СПб. : Питер, 2018. – 400 с.
2. *Жерон О.* Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / Орельен Жерон. – СПб. : ООО «Альфа-книга», 2018. – 688 с.
3. *Mikolov, T.* Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality / T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado, J. Dean [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://papers.nips.cc/paper/5021-distributed-representations-of-words-and-phrases-and-their-compositionality.pdf
4. Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.python.org/.

05.13.18

Н.В. Дмитриев

Уральский государственный университет путей сообщения,
механический факультет,
кафедра мехатроники,
Екатеринбург, ndmitriev@usurt.ru

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Представлены результаты выбора оптимальной стратегии при моделировании участка транспортной сети на местности, представимой нелинейностью в виде параболоида вращения. Описаны параметрические формулы траекторий трасс, введена модель функции стоимости. По результатам эксперимента получена диаграмма выбора оптимальной стратегии.

Ключевые слова: *моделирование, транспортная сеть, оптимальная стратегия, цифровая модель рельефа*.

Введение

Проектирование железных и автомобильных дорог невозможно без осуществления предварительного экономического обоснования, так как основой выбора магистрального направления транспортного пути является минимизация стоимости. Особенно это касается дорогостоящих высокоскоростных магистралей (ВСМ). В отличие от европейских стран, где процесс строительства ВСМ в целом окончен благодаря высокой плотности населения [1], в России он только начинается.

С одной стороны проектирование на начальном этапе основывается на анализе пассажиропотока и грузонапряжённости при изменении структуры транспортной сети [2], с другой стороны – на анализе местности [3]. В данном исследовании рассматривается именно анализ местности, предполагая, что обеспеченность пассажиропотока. Для этого необходимо обладать цифровой моделью рельефа (ЦМР), которую можно получить, например, из изображения топографических карт [4], как объектами, обладающими максимальной информацией о местности.

ЦМР является сложным нелинейным объектом, так как характеризует реальный ландшафт, поэтому в данном исследовании рассматривается анализ участка транспортного пути, на котором существует только нелинейность типа «возвышенность» или «низина».

Материалы и методы

Рассмотрим участок ЦМР как поверхность в трёхмерном пространстве координат (*x*, *y*, *z*). Для обоих типов нелинейностей будем использовать модель параболоида вращения, который имеет экстремум в точке (0, 0) горизонтальной плоскости *xy*:

$$z = z_0\left(1 - \frac{R^2}{R_0^2}\right) = z_0\left(1 - \frac{x^2 + y^2}{R_0^2}\right),$$

где z_0 – значение высоты в точке экстремума, R_0 – радиус, на котором высота становится равной нулю.

Будем считать, что необходимо выбрать оптимальную траекторию из точки (-R_0, 0, 0) в точку (R_0, 0, 0). Под оптимальностью траектории будем понимать минимизацию функции стоимости:

$$Cost_l = \int c(l)dl,$$

где l – контур траектории, $c(l)$ – функция стоимости на 1 км пути.

Так как траекторию можно представить параметрически в виде функций $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$, то произведём замену к параметру $t \in [0,1]$:

$$Cost_l = \int_0^1 c(x,y,z)\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}dt$$

Функция стоимости на 1 км пути должна зависеть только от фактической разницы между высотой реально пролагаемого пути $z(x, y)$ и высотой ЦМР $z_{ЦМР}(x, y)$. Причём, если разница равна нулю (линия нулевых работ), то функция должна принимать минимальное значение, в обратном случае – расти по квадратичному закону, так как масса насыпей или количество раскопок в поперечном профиле увеличивается квадратично. При дальнейшем росте разницы функция должна принимать постоянное значение, так как происходит переход стратегии строительства пути к строительству мостов или тоннелей. Для удовлетворения всех этих условий была выбрана следующая модель функции стоимости:

$$c(x,y,z) = c_0 + \frac{\Big(z(x,y) - z_{ЦМР}(x,y)\Big)^2}{\sigma^2 + \Big(z(x,y) - z_{ЦМР}(x,y)\Big)^2},$$

где c_0 – стоимость пути при прохождении по линии нулевых работ, σ – параметр, характеризующий критичное значение разницы высот, при котором происходит смена стратегии строительства.

Существует несколько стратегий построения траектории, применимость которых зависит от характера местности, так как существуют различные своды правил для строительства транспортных путей. Например, для различных железных дорог существуют ограничения на максимальный руководящий уклон дороги $i_р$ и минимальный радиус кривизны R_{min} [5]. Рассмотрим все возможные стратегии проектирования трасс.

I. Строительство моста/тоннеля. Является универсальной, так как не зависит от разницы между высотой пути и высотой реального рельефа. При этом параметрические формулы для траектории принимают форму:

$$x(t) = R_0(2t-1);\ y(t) = 0;\ z(t) = 0.$$

Для тоннелей существует требование к минимальному уклону трассы для стекания воды, в настоящем исследовании мы его опускаем, так как его влияние на стоимость незначительно.

II. Строительство пути с помощью прямой линии в плане по поверхности. Данная стратегия возможна, если уклон дороги меньше допустимого, то есть не является универсальной. Так как максимальный уклон возможен только в начале или конце траектории (в экстремуме он равен нулю), то:

$$|\nabla z| < i_р,$$

$$\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{-2xz_0}{R_0^2}\right)^2 + \left(\frac{-2yz_0}{R_0^2}\right)^2} < i_р,$$

$$\left|\frac{2z_0R}{R_0^2}\right| < i_р.$$

При подстановке $R = R_0$, получаем:

$$|z_0| < \frac{i_р R_0}{2}.$$

При этом параметрические формулы для траектории принимают форму:

$$x(t) = R_0(2t-1);\ y(t) = 0;\ z(t) = 4z_0t(1-t).$$

II*. Строительство пути с помощью прямой линии в плане с учётом раскопок/насыпей. Получается значение высоты $z'_0 = \frac{i_р R_0}{2}$, до которого доходит путь. Это вариант предыдущей стратегии, но с учётом дополнительных работ, что делает эту стратегию универсальной. Параметрические формулы:

$$x(t) = R_0(2t-1);\ y(t) = 0;\ z(t) = 4z'_0t(1-t).$$

III. Строительство пути с помощью криволинейного участка постоянной кривизны по поверхности. Данная стратегия возможна, если радиус кривизны больше минимального, то есть не является универсальной. Параметрические формулы:

$$x(t) = -R_0 \cdot \cos(\pi t);\ y(t) = R_0 \cdot \sin(\pi t);\ z(t) = 0.$$

III*. Строительство пути с помощью криволинейного участка постоянной кривизны с учётом раскопок/насыпей. Это вариант предыдущей стратегии, но с учётом дополнительных работ, что делает эту стратегию универсальной. При этом траектория вместо дуги $[0, \pi]$, заменятся на дугу $[\frac{\pi}{2} - \varphi, \frac{\pi}{2} + \varphi]$, где $\varphi = \arcsin(\frac{R_0}{R_{min}})$. Параметрические формулы:

$$x(t) = R_{min} \cdot \sin(2\varphi t - \varphi)\,;$$

$$y(t) = R_{min}(\cos(2\varphi t - \varphi) - \cos(\varphi));\ z(t) = 0.$$

Все представленные стратегии вместе с моделью ЦМР типа «возвышенность» (z_0 = 2 м, R_0 = 750 м) показаны на рис. 1.

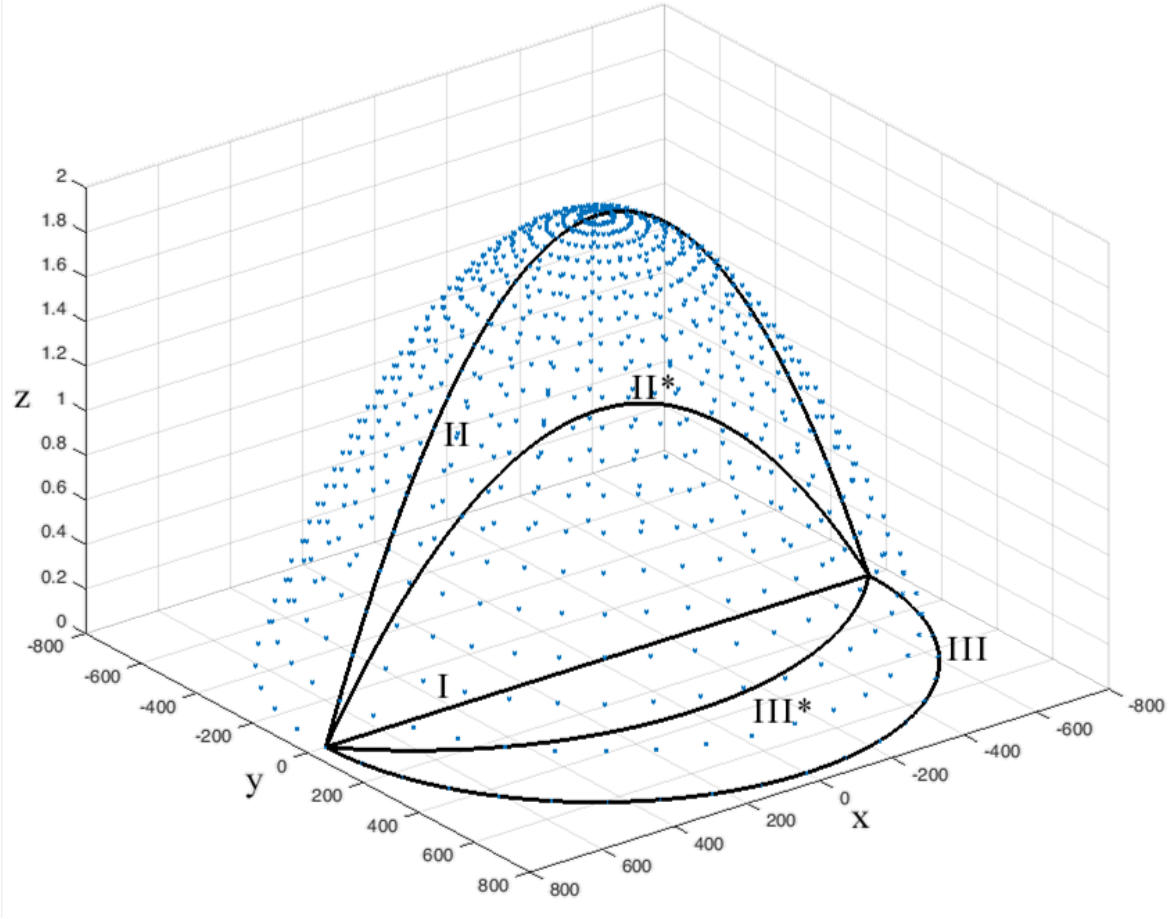


Рис. 1 – Стратегии строительства трасс на участке транспортной сети

Результаты

Были проведены эксперименты для различных значений z_0 и R_0 с вычислением интеграла стоимости траектории численным методом. Применены следующие значения параметров модели стоимости и ограничений: σ = 10 м, c_0 = 0.1, $i_р$ = 10‰, R_{min} = 1000 м. В итоге получена диаграмма оптимальной стратегии в координатах (R_0, z_0), представленная на рис. 2.

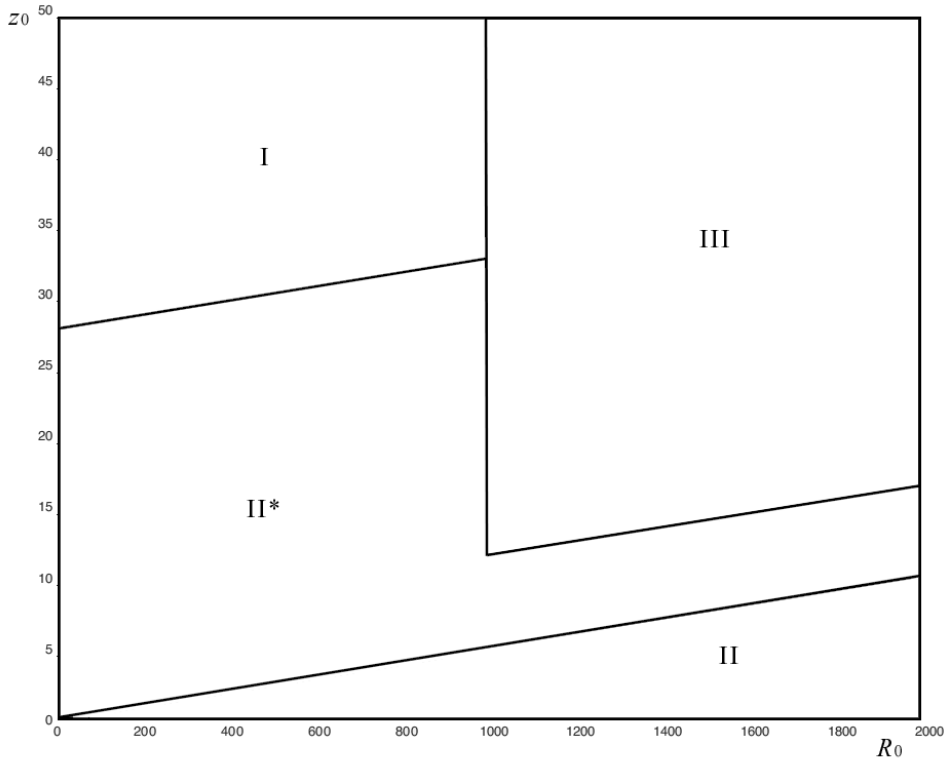


Рис. 2 – Диаграмма оптимальной стратегии в координатах (R_0, z_0)

Обсуждение

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. I стратегия выбирается на изолированных участках с большой высотой/глубиной, что соответствует горам и впадинам. II стратегия выбирается на равнинных участках с небольшими возвышениями, а II* стратегия на чуть более рельефных участках. III стратегия выбирается на протяжённых участках с большими высотами, что соответствует холмистой местности. III* стратегия оказалась неоптимальной ни для какого типа рельефа.

Так как в данном исследовании рассматривался только участок транспортной сети на нелинейности простейшего типа, то дальнейшие разработки следует посвятить анализу экономического обоснования строительства транспортных сетей на более сложных формах местности.

Благодарность

Исследования частично поддержаны грантом РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-01123-а.

Список литературы

1. *Мартыненко А.В., Петров М.Б.* Влияние особенностей размещения населения на развитие ВСМ в Европе // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 1(74). – с. 118-135.

2. *Тимофеева Г.А., Мартыненко А.В*. Анализ взаимосвязи развития транспортной сети и территории на основе вероятностного моделирования // Устойчивость и колебания нелинейных систем управления (конференция Пятницкого). – 2018. – с. 433-435.

3. *Петров М.Б., Тарасян В.С., Журавская М.А.* Моделирование оптимальной сети железных дорог с учетом развития транспортно-логистической системы региона // Экономика региона. – 2013. – № 4. – с. 181-189.

4. *Тарасян В.С., Дмитриев Н.В.* Интеллектуальная система анализа и преобразования топографических карт // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – С. 16.

5. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95. Утв. 13.06.2018. – 41 с.

05.13.18

А.И. Егунова канд. ист. наук, А.А. Аббакумов канд. техн. наук,
М.А. Воропаева, Д.П. Сидоров канд. техн. наук

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, vystasalla@gmail.com

ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

В статье рассматривается структура хранилища электронных образовательных ресурсов и методы обработки загружаемой информации, для эффективной организации удобного информационного поиска с помощью запросов на естественном языке.

Ключевые слова: *дистанционное образование, хранилище электронных образовательных ресурсов, информационный поиск, латентный семантический анализ, формирование тезауруса.*

Большую роль в получении знаний сегодня выполняет дистанционное образование. Основной и дополнительный материал на сайтах образовательных учреждений сгруппирован по направлениям подготовки в курсовой блок. В курсах кроме текстовых материалов размещаются презентации, мультимедиа и другие формы представления информации. Онлайн-курсы регулярно дорабатываются либо кардинально изменяются в связи с насущными требованиями к уровню знаний по направлениям, при этом в качестве базы остаются основные положения существующих курсов. Возникает проблема у обучающихся в полном и всестороннем рассмотрении интересующих вопросов. В глобальной паутине данная информация представлена зачастую в сжатой, частичной форме без полного рассмотрения примеров применения. Накопленная на серверах дистанционного образования научная и учебная информация зачастую неэффективно используется, т.к. навигация осуществляется по указанию прямых и полных идентификаторов, что приводит к отсечению семантически близкой информации. Автоматизация поиска образовательных ресурсов с учетом особенности знаний и уровня студента для повышения эффективности обучения становится актуальной задачей дистанционного образования.

Для формирования семантической системы поиска и систематизации хранимой информации широко применяется онтологический инжиниринг [1]. Анализ подходов на основе онтологий, решающих деревьев и нейронных сетей показал, что требуется высокая квалификация исполнителей и существует опасность субъективного отображения понятий предметной области. [2]

Информационная система обеспечивает хранение и обработку больших объемов разнородной информации через многофункциональный web-интерфейс с определенными профилями доступа. Для эффективной организации хранилища с обеспечением указанных требований по организации поиска на естественном языке разработаны основные сущности и прецеденты автоматизированной обработки загружаемой информации. Нетекстовые формы ресурсов имеют структурированные мета-описания, которые используются для организации полного поиска. Поисковая система использует для обработки текстовых документов комбинированный подход, основанный на сочетании модели векторного пространства и алгоритма латентного семантического анализа.

Структура системы спроектирована на основе анализа необходимого функционала и реализации актуальной задачи – поиска образовательных ресурсов. Система состоит из двух

основных модулей – модуля загрузки и хранения ресурсов и модуля организации поиска на естественном языке. В спроектированном хранилище были определены два актора: администратор и пользователь поисковой системы. Пользователь поисковой системы использует только функции поиска и просмотра ресурсов, получая доступ к словарю коллекции ресурсов, идентификационной (библиотечной) карточке электронных документов и системе поиска с встроенным функционалом запросов пользователя. Администратор выполняет поддержку функционирования системы и роль каталогизатора. В качестве каталогизатора он проверяет заполнение идентификаторов карточки электронного документа, формируя на их основе признаки мета-описания. Далее администратор загружает ресурс в хранилище из временной области хранения, запуская процесс автоматической обработки документов, который выполняет извлечение ключевых терминов, формирование словаря ресурсов, статических сведений и семантического кластера понятий. В процессе загрузки выполняется обновление статистических данных, которые отображаются на графике публикационной активности ресурсов и диаграмм сведений в разрезе формата данных и направлений подготовки образовательных ресурсов. Обновление семантического кластера ключевых терминов отображается на диаграмме связей ключевых понятий предметной области в форме кластера.

Полный цикл обработки загруженных документов включает следующие стадии:

- анализ текста документа (описания);
- подсчет термов;
- сортировка термов;
- определение ключевых термов;
- обновление словаря документов, включающих ключевой терм.

Информационное хранилище реализовано на языке Java с использованием фреймворка Spring и средой доступа к данным через ORM Hibernate. Сервисный уровень приложения реализован на основе модели проектирования MVC и разделяет функциональности компонентов бизнес-логики системы с применением набора операций, доступных через слой доступа к данным. Обработанные данные модели передаются контроллеру через сервисные интерфейсы для формирования представления, взаимодействующего с клиентом. Сервисные интерфейсы реализованы отдельными классами. [3]

В процессе обработки документ, представленный форматами doc, docx и pdf подвергается процессу токенизации с приведением слов к общей основной форме с помощью алгоритма Портера. С помощью модели векторного пространства решается задача классификации, кластеризации и ранжирования ресурсов по запросу, где документ представляется в виде вектора весов его терминов. Весовые коэффициенты рассчитываются по схеме взвешивания терминов tf-idf , где максимальное значение веса соответствует термину, встречающемся в небольшом количестве документов, а минимальное – при появлении в максимально большом количестве документов хранения. Метод позволяет уменьшить влияние шумовых слов и эффективно отсекает незначимые термины в документах заданной предметной области. [4]

Работа с документами ведется посредством интерфейсов слоя доступа к данным. Основная обработка выполняется при загрузке ресурсов. Контроль статуса операций ведется через Журнал событий.

В процессе поиска этап предобработки запроса выполняет выделение лексем и удаление стоп-слов. Оставшиеся лексемы обрабатываются стеммером Портера. На втором этапе, для расширения семантики запроса, из семантического кластера коллекции документов выбираются ассоциативно-связанные термины с максимальными значениями косинусной меры для ключевых слов, встречающихся в нескольких ресурсах информационного хранилища. Тезаурус формируется в виде терм-документной матрицы A' ранга K, основанной на весовых коэффициентах с подсчетом сходства терминов по косинусной мере:

$$similarity = \cos(\theta) = \frac{\overrightarrow{t_1} \cdot \overrightarrow{t_2}}{\|\overrightarrow{t_1}\| \, \|\overrightarrow{t_2}\|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \omega_{1i} \cdot \omega_{2i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\omega_{1i})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{n} (\omega_{2i})^2}}, \quad (1)$$

где $\overrightarrow{t_1} = \langle \omega_{1,j}, \dots, \omega_{1,|D|} \rangle$ и $\overrightarrow{t_2} = \langle \omega_{2,j}, \dots, \omega_{2,|D|} \rangle$ – векторные представления сравниваемых терминов, $\omega_{i,j}$– вес каждого термина $t_i \epsilon$ T по отношению к каждому документу $d_j \epsilon D$ из всего множества документов коллекции.

Термы, встречающиеся только в одном документе, хорошо идентифицируют документ и не нуждаются в поиске скрытых связей. Расширенное представление запроса состоит из обработанных лексем и найденных ассоциативно-связанных терминов.

На третьем этапе, для сужения области поиска подсчитываются коэффициенты наивного байесовского классификатора и выбираются информационно-близкие категории. Классификатор содержит идентификаторы дисциплин с максимальными значениями коэффициентов.

На последнем этапе определяется результирующая выборка ресурсов, соответствующих найденным дисциплинам. Выбранные ресурсы выводятся по группам, соответствующим коэффициенту классификатора, где упорядочиваются по релевантности. Семантический кластер представляется следующим образом:

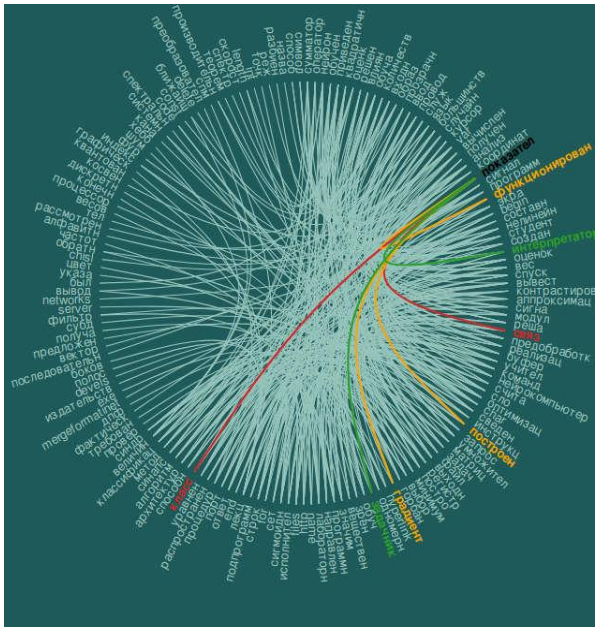


Рис. 1 – Отображение связей семантического кластера

Рассмотрим процесс поиска на примере запроса «Распознавание радиотехнических сигналов с помощью нейронных сетей». Результатом предобработки стали 5 лексем представленных на рисунке 2.

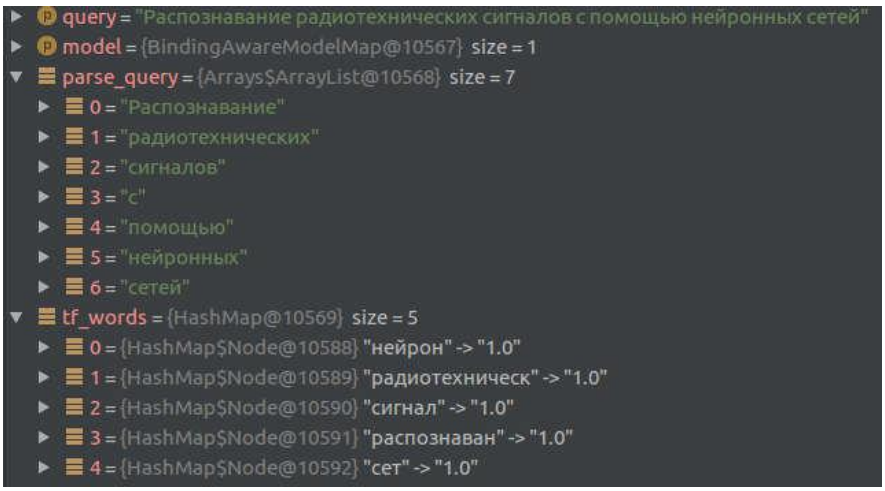


Рис. 2 – Результат обработки строки запроса на естественном языке

После расширения семантики запроса количество лексем было увеличено до 20 связанных понятий (рисунок 3).

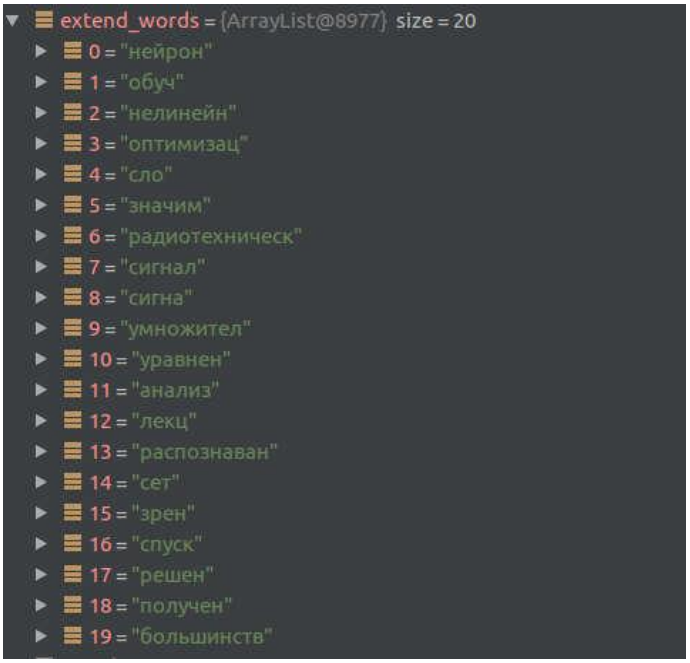


Рис. 3 – Результат расширения семантики запроса

Рассчитанные весовые коэффициенты наивного байесовского классификатора определили наилучшие категории с индексами 3, 1 и 2 (рисунок 4).

а) переменная classification_weight содержит идентификаторы дисциплин и значение коэффициентов

	id_discipline	discipline
Удалить	1	Цифровая обработка сигналов
Удалить	2	Базы данных
Удалить	3	Основы искусственного интеллекта
Удалить	4	Программирование

б) перечень дисциплин с указанными классификаторами

Рис. 4 – Выбор кластера дисциплин семантически близких запросу

Результат поискового запроса выводит ресурсы, ранжированные в порядке убывания релевантности. Пользователь получает название ресурса и его краткую аннотацию из метаописания.

При выполнении поискового запроса с нечетким смысловым выражением информационной потребности, расчет весов коэффициентов термов запроса дает существенную релевантность результата. Пример работы поискового запроса неявной информацией: «База сигналов триггеров» показан на рисунке 5.

Рис. 5 – Результат мало информативного запроса при выполнении всех этапов обработки

Классификатор разработанного алгоритма позволяет определить основное семантическое поле запроса в контексте дисциплины «Базы данных», перемещая ресурс на первое место (рисунок 5). При его отсутствии суммирующая релевантность определяет на первое место УМК по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».

Рассмотренная методика обработки хранимых электронных образовательных ресурсов повышает функциональность порталов дистанционного образования и электронных библиотек образовательных учреждений. Поиск на естественном языке предоставляет учащимся более полную информацию по интересующему вопросу и позволяет рассматривать ресурсы других авторов и форматов.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарѐва" при финансовой поддержке Минобрнауки РФ 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. *Ужва А.Ю.* Автоматизированная разработка онтологической модели предметной области для поиска образовательных ресурсов с использованием анализа текстов рабочих программ// Современные проблемы науки и образования. Электрон. журн. – 2013. -№ 1.

2. *Слободюк А.А., Маторин С.И., Четвериков С.Н.* О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области // Научные ведомости БелГУ. Серия: Экономика. Информатика. №22 (165) 2013, выпуск 28/1. С. 186-194.

3. *Егунова А.И., Аббакумов А.А., Воропаева М.А., Вечканова Ю.С.* Система управления хранилищем электронных образовательных ресурсов // Образовательные технологии и общество. – Казань.: Образовательные технологии и общество. Электрон. журн. Том 22. №3. 2019.С.145 – 154.

4. *Александров Э.Э., Егунова А.И., Воропаева М.А.* Методика обработки текстовых документов для организации информационного поиска с помощью запросов на естественном языке // Научно-технический вестник Поволжья. №1 2018 г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2018. С. 102-106

05.13.18

Е.Н. Канинина, В.В. Родин канд. техн. наук

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, 89879979005@rambler.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИНЫ

В работе представлены результаты разработки математической модели колебаний винтовых пружин. Рассматривается материал, посвященный уравнениям колебаний пространственных стержней. Приводятся выражения, используемые при рассмотрении колебаний.

Ключевые слова: *колебание, уравнение, пружина, модель, сила, условие.*

Исследованию механических колебаний винтовых пружин посвящены работы [1-4]. В них параметры колебаний рассчитываются с помощью уравнений Кирхгофа. Уравнения определяют линейные и угловые перемещения стержня при действии внешней нагрузки в подвижной (вращающейся) системе координат. Начало этой системы координат совпадает с центром тяжести поперечного сечения стержня, а оси *OX*, *OУ*, *OZ* соответственно совпадают по направлению с нормалью, бинормалью и касательной к осевой линии. Перемещение системы координат по оси стержня на элементарное расстояние *ds* вызывает ее поворот относительно *OX*, *OУ*, *OZ*.

Система уравнений Кирхгофа записывается:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial Q_x}{\partial s} + Q_z q - Q_y r - q_x = 0,\\
&\frac{\partial Q_y}{\partial s} + Q_x r - Q_z p - q_y = 0,\\
&\frac{\partial Q_z}{\partial s} + Q_y p - Q_x q - q_z = 0,\\
&\frac{\partial M_x}{\partial s} + M_z q - M_y r - Q_y - m_x = 0,\\
&\frac{\partial M_y}{\partial s} + M_x r - M_z p + Q_x - m_y = 0,\\
&\frac{\partial M_z}{\partial s} + M_y p - M_x q - m_z = 0,
\end{aligned} \qquad (1)$$

где *Qx*, *Qy*, *Qz* - внутренние осевые силы в стержне*; Mx*, *My*, *Mz* – осевые моменты сил в стержне*; p*, *q*, *r* - проекции кривизны кривой оси стержня; *s* - длина; *qx*, *qy*, *qz* - проекции вектора распределенной нагрузки*; mx*, *my*, *mz* - проекции вектора распределенного момента.

При исследовании колебаний рассматривается элемент, изменяющий свою начальную длину *ds0* на *ds* и занимающий новое положение в пространстве, под действием приложенной внешней нагрузки

Уравнения равновесия, доопределяются уравнениями Клебша, определяющие взаимосвязь между линейными, угловыми перемещениями и линейной деформацией:

$$\psi_y = \frac{\partial u}{\partial s} - vr_o + wq_o,$$
$$-\varphi_x = \frac{\partial v}{\partial s} - wp_o + ur_o,$$
$$\varepsilon = \frac{\partial w}{\partial s} - uq_o + vp_o,$$
$$p^* = \frac{\partial \varphi_x}{\partial s} + q_o\Theta_z - r_o\psi_y, \quad (2)$$
$$q^* = \frac{\partial \psi_y}{\partial s} + r_o\varphi_x - p_o\Theta_z,$$
$$r^* = \frac{\partial \Theta_z}{\partial s} + p_o\psi_y - q_o\varphi_x,$$

где *u, v, w* - линейные перемещения точки *Oo; φx, ψy, Θz* - углы поворота системы координат*; po, qo, ro* - проекции кривизны недеформированного элемента*; p*, q*, r**- приращения соответствующих кривизн *po, qo, ro* при деформации; ε - относительное удлинение проволоки.

При колебаниях пружины около положения статического равновесия кривизны, внутренние силы, моменты сил составляют сумму их исходных величин и приращений:

$$p = p_o + p^*, \qquad q = q_o + q^*, \qquad r = r_o + r^*,$$
$$Q_x = Q_{xo} + Q_x^*, \qquad Q_y = Q_{yo} + Q_y^*, \qquad Q_z = Q_{zo} + Q_z^*, \quad (3)$$
$$M_x = M_{xo} + M_x^*, \qquad M_y = M_{yo} + M_y^*, \qquad M_z = M_{zo} + M_z^*,$$

где *Qxo, Qyo, Qzo* - значения внутренних сил в материале пружины, находящейся в положении статического равновесия; *Qx*, Qy*, Qz** - приращения сил при колебаниях; *Mxo, Myo, Mzo* - значения моментов внутренних сил; *Mx*, My*, Mz** - приращения моментов при колебаниях.

При незначительных колебаниях элемента пружины приращения величин много меньше начальных значений, что позволяет исключить произведения малых величин *Qz*q*, Qy*r*, Qx*r*, Qz*p*, Qy*p*, Qx*q*, Mz*q*, My*r*, Mx*r*, Mz*p*, My*p*, Mx*q**.

Проекции векторов *q, m* на оси *OX, OY, OZ,* при периодической внешней нагрузке по времени *t*, соответственно равны сумме распределенных инерционных сил или моментов:

$$q_x = \rho F \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + q_{внх},$$
$$q_y = \rho F \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + q_{вну},$$
$$q_z = \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + q_{внz},$$
$$m_x = \rho J_x \frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial t^2} + m_{внх}, \quad (4)$$
$$m_y = \rho J_y \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} + m_{вну},$$
$$m_z = \rho J_z \frac{\partial^2 \Theta_z}{\partial t^2} + m_{внz},$$

где *Jx, Jy, Jz* - моменты инерции поперечного сечения*; qxвн, qувн, qzвн, mxвн, mувн, mzвн* - интенсивности внешних сил*; F* - площадь поперечного сечения проволоки пружины; ρ - плотность материала пружины.

Кривизны пружины в состоянии статического равновесия, записываются:

$$p_o = 0, \qquad q_o = \frac{2\cos^2\alpha}{D}, \qquad r_o = \frac{\sin 2\alpha}{D}. \tag{5}$$

где D - диаметр пружины; α - угол навивки пружины.

Внутренние силы и моменты сил для закрепленной пружины, с учетом малости сил, возникших после ее навивки при изготовлении, определяются:

$$Q_{xo} = 0, \qquad Q_{yo} = P\cos\alpha, \qquad Q_{zo} = P\sin\alpha, \tag{6}$$

$$M_{xo} = 0, \qquad M_{yo} = \frac{PD}{2}\sin\alpha, \qquad M_{zo} = \frac{PD}{2}\cos\alpha. \tag{7}$$

Моменты инерции *Jx, Jy* поперечного сечения проволоки пружины постоянного диаметра являются экваториальными моментами инерции J этого сечения. Момент инерции *Jz* является полярным моментом инерции *Jo* поперечного сечения:

$$J_z = J_o = \frac{\pi d^4}{32}. \tag{8}$$

Возникающие приращения вектора внутреннего момента M при колебаниях по осям вращающейся системы пропорциональны приращению вектора кривизны:

$$M_x^* = EJp^*, \qquad M_y^* = EJq^*, \qquad M_z^* = GJ_o r^*. \tag{8}$$

где E - модуль упругости; G – модуль упругости второго рода.

Длина проволоки L, из которой свита пружина, определяется по формуле:

$$L = \frac{\pi D i}{\cos\alpha} \tag{9}$$

Распределенная, периодическая возмущающая нагрузка, действующая только вдоль одной оси *ОУ* вращающейся системы координат, приводит к возникновению внешней силы на элемент пружины:

$$\partial Q_{увн} = F_{vn}\sin(\frac{2\pi}{T}t)\partial s, \tag{10}$$

где *Fvn* – амплитудное значение внешней силы распределенной по оси проволоки; T - период колебаний силы.

Значение интенсивности распределенной нагрузки, в этом случае, на рассматриваемом участке находится по формуле:

$$q_{увн} = F_{vn}\sin(\frac{2\pi}{T}t). \tag{11}$$

Величины *qxвн, qzвн, mxвн, myвн, mzвн* от действия внешней распределенной нагрузке на пружину вдоль оси *ОУ* вращающейся системы координат равны нулю.

Систему уравнений Кирхгофа с учетом указанных выражений можно записать в виде:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial Q_x^*}{\partial s} + Q_{zo}q_o + Q_{zo}q_o^* + EFq_o\varepsilon - Q_{yo}r_o - Q_{yo}r_o^* - Q_y^*r_o = \rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2},\\
&\frac{\partial Q_y^*}{\partial s} + Q_x^*r_o - Q_{zo}p^* = \rho F\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + F_{vn}\sin(\frac{2\pi}{T}t),\\
&EF\frac{\partial \varepsilon}{\partial s} + Q_{yo}p^* - Q_x^*q_o = \rho F\frac{\partial^2 w}{\partial t^2},\\
&EJ\frac{\partial p^*}{\partial s} + M_{zo}q_o + (M_{zo} - EJr_o)q^* + (GJq_o - M_{yo})r^* - M_{yo}r_o - Q_{yo} - Q_y^* = \rho J\frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial t^2},\\
&EJ\frac{\partial q^*}{\partial s} + (EJr_o - M_{zo})p^* + Q_x^* = \rho J\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2},\\
&GJ\frac{\partial r^*}{\partial s} + (M_{yo} - EJq_o)p^* = \rho J\frac{\partial^2 \Theta_z}{\partial t^2}.
\end{aligned} \tag{12}$$

Эта система уравнений решается в совокупности с уравнениями (1).

Расчет осуществляется для колебаний около положения статического равновесия с амплитудой, параметры которой не нарушают закон Гука.

Возникающее влияние сил внутреннего трения в материале пружины при колебаниях не учитывается. Величина этих сил значительно меньше величины возникающих внутренних сил.

При решении системы уравнений определяются начальные условия, зависящие от способа закрепления пружины и её положения в начальный момент времени.

Уравнения позволяет определять линейные и угловые перемещения пружины относительно положения статического равновесия под действием периодической внешней нагрузки, значения возникающих внутренних сил и моментов сил.

Список литературы

1. *Белый В.Д.* Стержни и стержневые системы. Омск: ОмПИ. 1979. 89 с.
2. *Хвингия М.В.* Вибрация пружин. М.: Машиностроение, 1969. 286 с.
3. *Воробьёв Ю.С., Шорр Б.Ф.* Теория закрученных стержней. Киев: Наукова думка, 1983. 186 с.
4. *Rodin V.V.*, “Modeling the process of mechanical oscillations of helical springs”, International Transaction Journal of Engineering, Management & Applied Sciences & Technologies, Vol. 10, No. 5. 2019, pp. 733-741

05.13.18

Л.В. Кирьянова канд. физ.-мат. наук

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,
Москва, KiryanovaLV@mgsu.ru

ПЕРВОЕ СОБСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛИ БЕГЛИ-ТОРВИКА

В работе проведен анализ зависимости первого (минимального) собственного значения краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка, содержащего дробную производную, от порядка дробной производной и постоянным коэффициентом перед ней.

Ключевые слова: *дробное дифференцирование, собственное значение краевой задачи.*

Рассмотрим однородную краевую задачу для уравнения Бегли-Торвика [1]:

$$u''(x) + \varepsilon \cdot D^{\alpha}u(x) + \lambda \cdot u(x) = 0; \quad x \in [0;1] \tag{1}$$

$$u(0) = u(1) = 0. \tag{2}$$

Здесь ε – известная постоянная величина,

$D^{\alpha}u(x)$ – оператор дробного дифференцирования порядка $\alpha > 0$ по Капуто, причем $k-1 < \alpha \le k, \quad k = 1, 2, \ldots$

$$D^{\alpha}u(x) = \frac{1}{\Gamma(k-a)} \int_0^x \frac{u^{(k)}(\tau)d\tau}{(x-\tau)^{\alpha+1-k}} \tag{3}$$

Г – гамма – функция Эйлера.

Уравнение Бегли-Торвика (1) в настоящее время используют при построении моделей в строительном материаловедении для анализа поведения вязкоупругих материалов [2,3]. В частности, в работе [3] такая модель использована для моделирования изменения деформационно-прочностных характеристик полимербетона при нагружении. Полимербетон представляется как набор гранул минерального наполнителя, находящихся в вязкоупругой среде. В этом случае движение гранулы описывается уравнением (1), где ε – модуль вязкости смолы, λ – модуль жесткости смолы, α – параметр вязкоупругости среды.

Доказано [4, 5], что при $0 < \alpha < 1$ собственные значения модели вида (1) – (2) имеют вид:

$$\lambda_n = (\pi\, n)^2 - c(\pi\, n)^{\alpha} \sin\frac{(1-\alpha)\pi}{2} \tag{4}$$

Кроме того [5, 6], собственные значения задачи (1) – (2) при $0 < \alpha < 2$ можно найти, как решения уравнения:

$$1 = \sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1} \sum_{m=1}^{n} \frac{\binom{n}{m}\varepsilon^m \lambda^{n-m}}{\Gamma(2n+2-m\alpha)} \tag{5}$$

Для случая $1 < \alpha < 2$ доказать явную формулу для собственных чисел модели (1) – (2), аналогичную (4) не удается, поэтому исследуем уравнение (5) с целью получения приближенной явной формулы для первого собственного значения. Будем рассматривать только важный в практических применения случай $\varepsilon \ge 0$.

В неявном уравнении (5) содержится три переменных: собственные числа λ модели (1) – (2);

- порядок α оператора дробного дифференцирования (дробной производной) D^{α};
- значение постоянной ε перед дробной производной.

При заданном порядке дробной производной α и значении постоянной ε найдем величину первого (минимального) собственного числа с помощью неявного уравнения (5). Далее будем исследовать зависимость первого (минимального) собственного числа модели (1) – (2) от порядка дробной производной и значения постоянной:

$$\lambda = f(\alpha, \varepsilon).$$

Для начала заметим, что функция $f(\alpha, \varepsilon)$ удовлетворяет трём условиям, которые легко получить, решая классическую задачу Штурма - Лиувилля:

$$f(\alpha,0)=\pi^2;\ \ f(1,\varepsilon)=\pi^2+\frac{\varepsilon^2}{4};\ \ f(2,\varepsilon)=\pi^2(1+\varepsilon)\,. \qquad (6)$$

Сначала зафиксируем значение дробной производной

Для нахождения первого собственного значения используем приближенную неявную формулу:

$$1=\sum_{n=1}^{100}(-1)^{n+1}\sum_{m=1}^{n}\frac{\binom{n}{m}\varepsilon^m\lambda^{n-m}}{\Gamma(2n+2-m\alpha)}\,. \qquad (7)$$

Шаг по переменной α составляет одну десятую. Шаг по переменной ε составляет 0.5 для α от 1.1 до 1.6; 0.25 для α равного1.7 и 1.8; 0.1 и 0.15 для α равного 1.9. Полученные значения первого собственного числа визуализированы на рисунках 1 и 2.

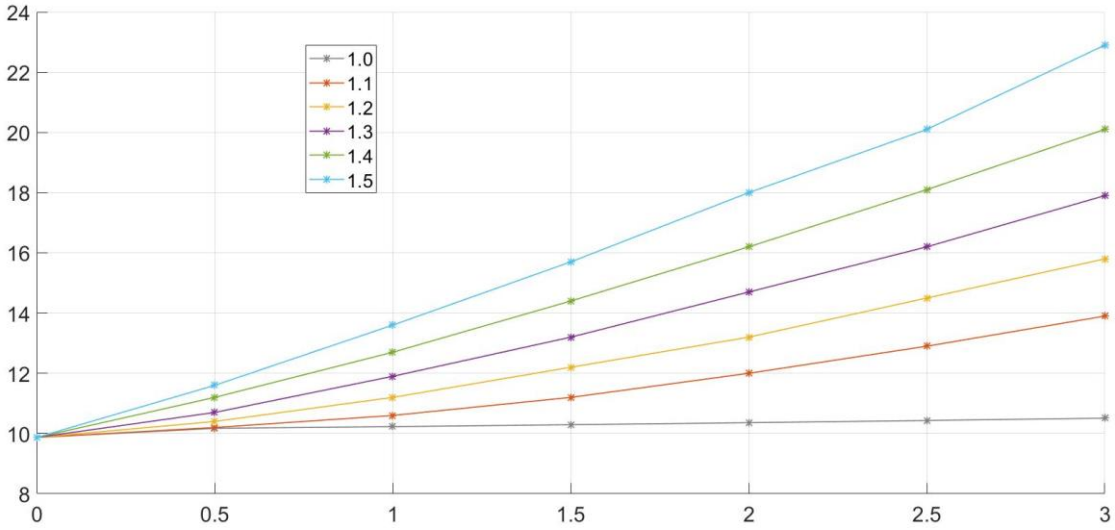


Рис. 1 - Первое собственное значение в зависимости от ε для α от 1до 1.5.

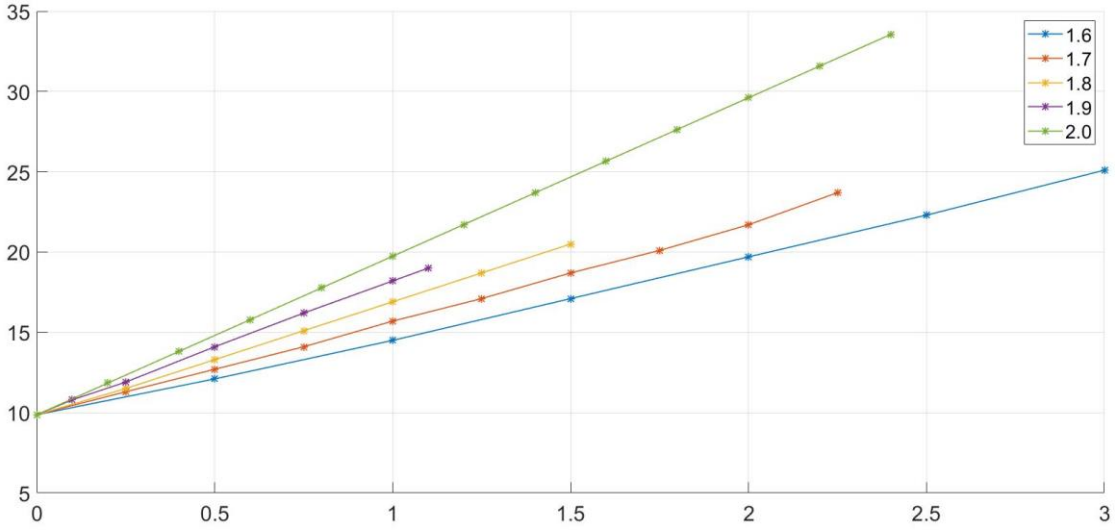


Рис. 2 - Первое собственное значение в зависимости от ε для α от 1.6 до 2.

Для полученного семейства функций будем использовать полиноминальную модель, порядок полинома, учитывая условия (6), возьмем равным 2:

$$f(\alpha,\varepsilon)=A(\alpha)\cdot\varepsilon^2+B(\alpha)\cdot\varepsilon+\pi^2. \qquad (8)$$

В результате аппроксимации получены значения параметров модели (8), которые представлены в виде таблицы, в которой эти значения приведены с 3 знаками после запятой. Коэффициент детерминации, близость к единице которого указывает на точность построенной модели находится в пределах от 0.9994 до 0.9999.

Таблица. – Значения параметров полиномиальной модели (8).

α	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
A	0.298	0.303	0.298	0.264	0.298	0.183	0.304	0.162	-0.198
B	0.457	1.093	1.814	2.635	3.428	4.543	5.364	6.885	8.523

Далее используем показательную модель для коэффициента при первой степени и тригонометрическую – для коэффициента при второй степени:

$$B(\alpha) = 1.518 \cdot \alpha^{2.912} - 1.499;\ A(\alpha) = 0.304 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\alpha + 0.5675\alpha - 1.135\right).$$

Коэффициент детерминации для коэффициента при первой степени равен 0.9989, и 0.6523 для коэффициента при второй.

Итоговая модель (значения даны с 3 знаками после запятой):

$$f(\alpha, \varepsilon) = \pi^2 + [1.518 \cdot \alpha^{2.912} - 1.499]\varepsilon + 0.304 \sin\left(\frac{\pi}{2}\alpha - 1.135\left\{\frac{\alpha}{2} - 1\right\}\right)\varepsilon^2$$

График предложенной функции $f(\alpha,\varepsilon)$ представлен на рисунке 3.

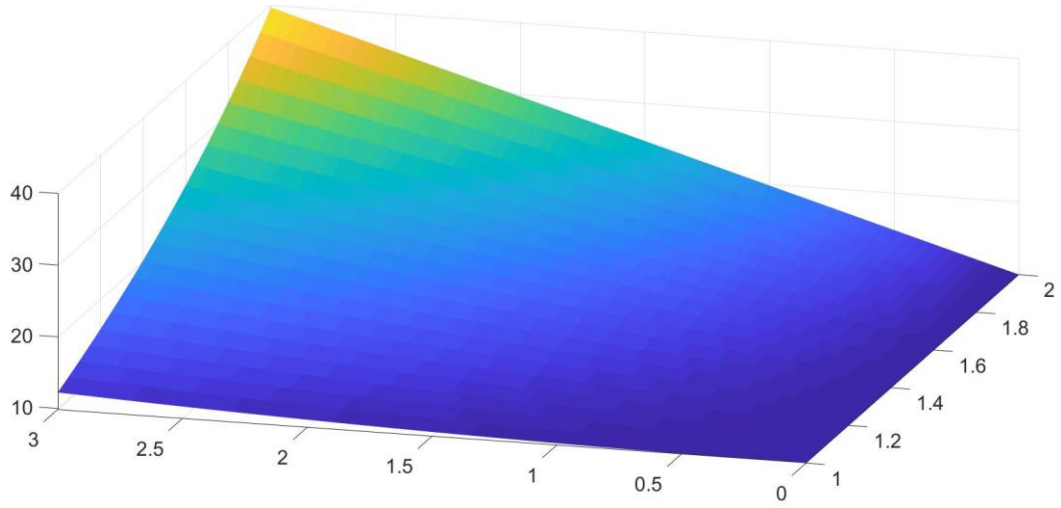


Рис. 3. – График функции $f(\alpha,\varepsilon)$.

Для верификации предложенной модели используем важный в практических приложениях дробного исчисления случай (см, например, [6]) α =1.47; ε =1.8. Первое (минимальное) собственное значение, найденное с помощью неявного уравнения (7) равно 16.51, в то время как f (1.47, 1.8)=16.45. Погрешность составляет 1% от значения, найденного через (7), что позволяет говорить о достаточно высокой точности полученной модели.

В заключение автор выражает глубокую признательность профессору кафедры прикладной математики НИУ МГСУ Т.С. Алероеву за внимание к работе и полезные обсуждения.

Список литературы

1. *Bagley R.L., Torvik P.J.,* Fractional calculus – a different approach to the analysis of viscoelastically damped structures // AIAA Journal. – 1983. v.21, №5 – p.741-748.

2. *Кехарсаева Э.Р., Пирожков В.Г.*. Моделирование изменения деформационно-прочностных характеристик асфальтобетона при нагружении с помощью дробного исчисления // Сб. трудов "Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред", М., ИПРИМ РАН, – 2016 – с.104-109.

3. *Ibrahim B., Dong Q., Fan Z.,* Existence for boundary value problems of two-term Caputo fractional differential equations // J. of nonlinear sciences and appl.. – 2017 – p. 511-520.

4. *Aleroev T., Kirianova L.,* Presence of Basic Oscillatory Properties in the Bagley-Torvik Model // VI International Scientific Conference “Integration. Partnership and Innovation in Construction Science and Education” (IPICSE-2018) MATEC Web of Conferences. – 2018 v. 251 – 04022.

5. *Aleroev T., Aleroeva H., Kirianova L.,* One method for the boundary value problem eigenvalues calcuating for a second-order differential equation with a fractional derivative // International Journal of Modeling, Simulation and Scientific Computing, – 2019, v.10. №1 – 1142.

6. *Алероев Т.С., Ерохин С.В.*. Параметрическая идентификация порядка дробной производной в модели Бегли – Торвика. // Математическое моделирование, – 2018, т. 30, № 7 – с. 93-102.

05.13.18

О.Ю. Кустов, И.В. Храмцов канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, KustovOU@yandex.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕПОЛНЫХ БОКОВЫХ ЯЧЕЕК ОБРАЗЦА СОТОВОЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

При определении акустических характеристик однослойного образца реальной сотовой звукопоглощающей конструкции (ЗПК) путем эксперимента в интерферометре с нормальным падением волн и численного моделирования физических процессов в интерферометре, выявлено влияние неполных боковых ячеек образца на акустические характеристики. Численное моделирование выполнено на основе решения нестационарных уравнений Навье-Стокса с учетом вязкости и сжимаемости в полной трехмерной постановке. Отмечено высокое качество количественного согласования акустических характеристик образца ЗПК, полученных в численном моделировании и в эксперименте.

Ключевые слова: *звукопоглощающие конструкции, 3D-печать, акустические характеристики, импеданс, численное моделирование*.

Эффективность резонатора будущей панели ЗПК прогнозируют на основе полуэмпирических моделей [1-2]. Далее изготавливается опытный образец для эксперимента на интерферометре, где можно эффективно оценить акустические характеристики и на начальной стадии отбросить не подходящие и неудовлетворяющие требованиям образцы. Точность проведения измерений зависит от импедансной трубы, так как каждый интерферометр имеет свои геометрические особенности [3].

Полуэмпирические модели тоже имеют ряд недостатков, поэтому последние 20 лет активно исследуется вопрос определения акустических характеристик резонаторов ЗПК с помощью численных методов [4-10]. Часто используют уравнения Гельмгольца [4, 5], но при такой постановке удается качественно определить только собственную частоту ячейки резонатора. Результаты работ [6-8,10] указывают на необходимость использования уравнений Навье-Стокса для прямого численного моделирования. Много работ посвящено расчету резонатора совместно с интерферометром. Например, в работах [8, 9] рассматривается вопрос использования линеаризованных уравнений Навье-Стокса для расчета процессов в акустическом интерферометре. Другие же авторы [10] поставили задачу расчета интерферометра в постановке прямого численного моделирования и сравнили расчет с экспериментом, что близко к задаче данной работы.

Для проведения серии экспериментов на интерферометре Ø 30мм были напечатаны образцы, при помощи аддитивных технологий, соответствующие стандартному образцу однослойной ЗПК (рис.1), с высотой 20 мм и степенью перфорации 8% (диаметр отверстий 2 мм).

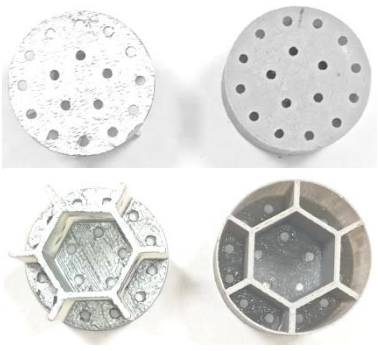


Рис. 1 - Образец ЗПК F8H20 для «Интерферометра Ø 30»

Различие у образцов в наличии и отсутствии боковой стенки по окружности дало значительное расхождение в экспериментальных данных (см. рис.2). При наличии стенок образец имеет два набора ячеек резонаторов разного объема, что вносит значимые коррективы в действительную часть и резонанс образца в целом. Общий процент перфорации всего образца не сохраняется и центральная ячейка доминирует над боковыми. Частично влияние неполных боковых ячеек образца сотовой звукопоглощающей конструкции на точность акустических характеристик для других образцов ЗПК было рассмотрено в статье авторов [11].

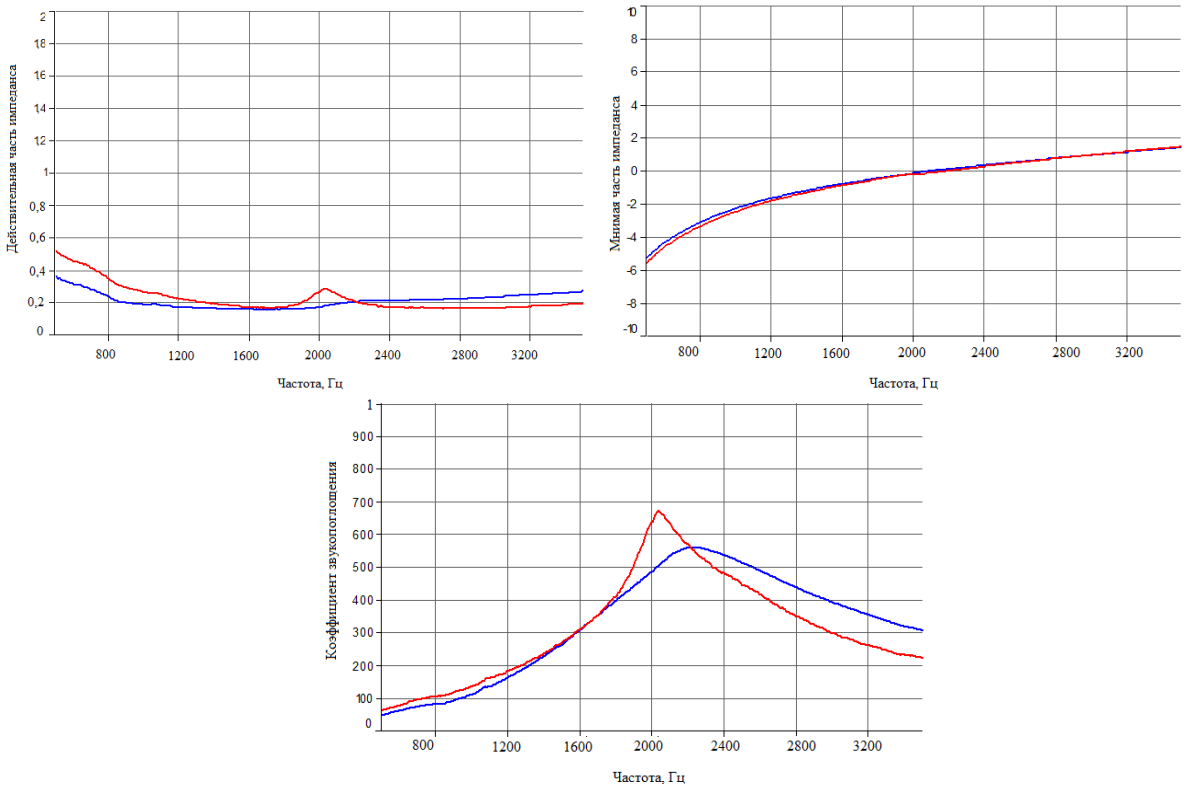


Рис. 2 - Акустические характеристики образца F8H20 в «Интерферометре Ø 30»:
- синяя кривая – эксперимент образца без стенок по окружности;
- красная кривая – эксперимент образца со стенками по окружности.

Можно предположить, что левый образец, при установке в канал интерферометра, имеет микро-перетекания акустической энергии падающих звуковых волн по боковым неполным ячейкам, и диссипативные процессы не так ярко выражены. Общий процент перфорации всего образца сохраняется и все ячейки работают совместно.

Из-за существенного различия, результаты эксперимента для правого образца (рис.1) были валидированы на полной трехмерной постановке численного моделирования, с сохранением рассматриваемой геометрии. Цель численного моделирования - получить дополнительную информацию, смоделировав идеальный жесткий образец. Результаты численного расчета, с последующей обработкой по методу передаточной функции, в сравнении с результатами эксперимента представлены на рис.3.

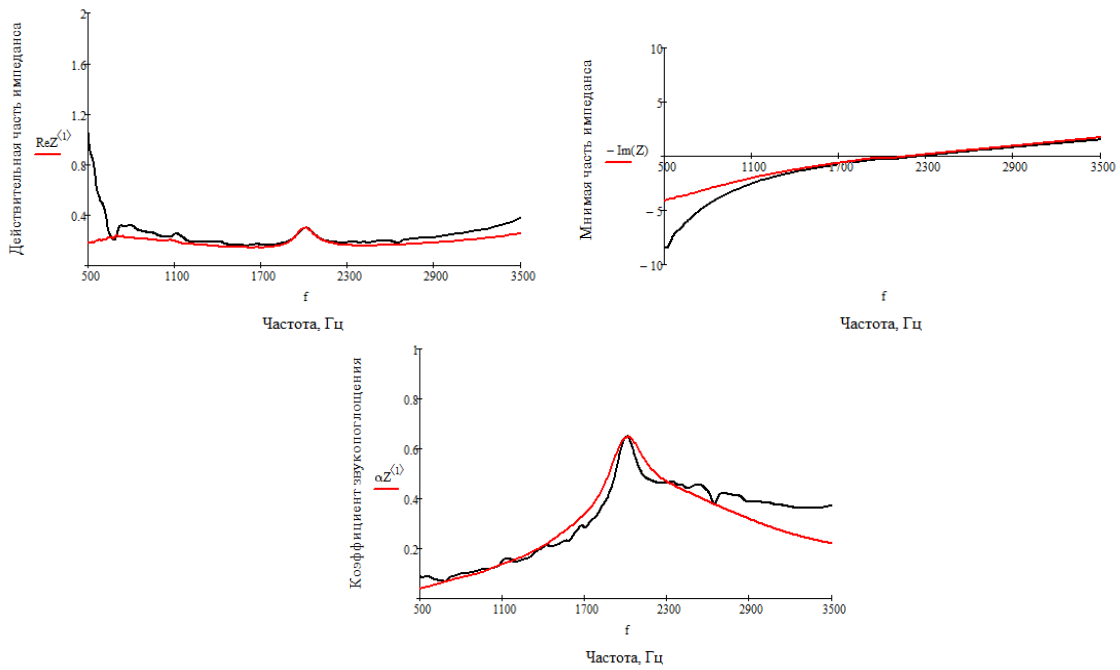


Рис. 3 - Акустические характеристики образца F8H20 в «Интерферометре Ø 30»: красная кривая – эксперимент; черная – результаты численного моделирования [11]

В результате, акустические характеристики натурного эксперимента и моделирования имеют хорошее согласование. Следовательно, экспериментальные образцы для интерферометра должны иметь боковые стенки по окружности, либо должна быть только одна цельная центральная ячейка с перфорацией без кусков ячеек резонаторов и возможных щелей. Образец должен быть максимально жестким и зафиксированным в канале интерферометра.

Модель постановки задачи представлена на рис. 4. Уровень звукового давления на входе в расчетную область составляет 130 дБ, как и в натурном эксперименте. Расчеты проведены методом недоразрешенного прямого численного моделирования (DNS). Используется сопряженный решатель по давлению (Pressure Based Coupled Solver), неявная разностная схема по времени второго порядка точности и численные схемы второго порядка точности по пространственным переменным для аппроксимации конвективных членов в уравнениях. Детально методика моделирования представлена в работах [11, 12].

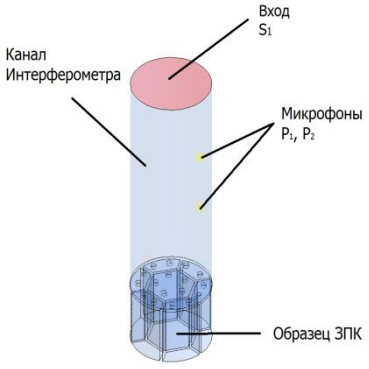


Рис. 4. Постановка задачи для расчетной модели

По результатам верификации установлено, что экспериментальные образцы для интерферометра должны иметь боковые стенки по окружности и их полости (ячейки резонаторов) должны быть замкнуты. В целом, постановка численного расчета имеет хорошее согласование с экспериментом, что подтверждает эффективность численного моделирования акустического интерферометра с образцом ЗПК.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90035\19.

Список литературы

1. *Соболев А.Ф.* Полуэмпирическая теория однослойных сотовых звукопоглощающих конструкций с лицевой перфорированной панелью // Акустический журнал. – 2007. – Т. 53, № 6. – С. 861-872.

2. *Синер А.А., Мякотникова А.С.,* Численное исследование акустических свойств звукопоглощающих конструкций // Ученые записки ЦАГИ, 2012, Т. XLIII, № 4, С. 95-110.

3. *Федотов Е.С., Кустов О.Ю., Храмцов И.В., Пальчиковский В.В.* Сравнительный анализ акустических интерферометров на основе расчетно-экспериментальных исследований образцов звукопоглощающих конструкций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 48. – С. 89-103.

4. *Комкин А.И., Миронов М.А., Юдин С.И.* Собственная частота резонатора Гельмгольца на стенке прямоугольного канала // Акуст. журн. 2014. Т. 60. №2. С. 145-151.

5. *Комкин А.И., Быков А.И.* Инерционная присоединенная длина горла резонаторов Гельмгольца // Акуст. журн. 2016. Т. 62. №3. С. 277-287.

6. *Zhang Q., Bodony D.J.* Impedance predictions of 3D honeycomb liner with circular apertures by DNS // AIAA Paper 2011-2727.

7. *Zhang Q., Bodony D.J.* Direct Numerical Simulation of Three Dimensional Honeycomb Liner with Circular Apertures// AIAA Paper 2011-843.

8. *Na W., Boij S., Efraimsson G.* Simulations of acoustic wave propagation in an impedance tube using a frequency-domain linearized Navier-Stokes solver // 20th AIAA/CEAS Aeroacoustic Conference, Atlanta, Georgia, 2014, AIAA Paper 2014-2960.

9. *Roche J.M., Leylekian L., Delattre G., Vuillot F.* Aircraft fan noise absorption: DNS of the acoustic dissipation of resonant liners // 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2009, AIAA Paper 2009-3146.

10. *Tam C.K. W., Kurbatskii K.A.* A numerical and experimental investigation of the dissipation mechanisms of resonant acoustic liners // Journal of Sound and Vibration (2001) 245(3), 545-557.

11. *Khramtsov, I.V., Kustov, O.Yu., Palchikovskiy, V.V.:* Determination of acoustic characteristics of full-scale sample of single-layered honeycomb liner based on numerical simulation, AKUSTIKA, Vol. 32, p. 182-188, 2019

12. *Khramtsov I.V., Kustov O.Yu., Fedotov E.S., Siner A.A.* On numerical simulation of sound damping mechanisms in the cell of a sound-absorbing structure. Acoustical Physics. 2018. Vol. 64, No. 4. P. 511-517.

05.13.18

В.Е. Левин д-р техн. наук, Н.А. Лапердина канд. техн. наук,
И.П. Олегин д-р техн. наук

Новосибирский государственный технический университет,
факультет летательных аппаратов,
кафедра прочности летательных аппаратов,
Новосибирск, olegin@craft.nstu.ru

ЧИСЛЕННЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

Решается задача теории упругости для определения эффективных упругих свойств однонаправлено армированных сред методом конечных элементов. Решение строится на понятии представительного элемента среды, выбираемого из физических и геометрических соображений. Автоматизирован расчет требуемых упругих характеристик для заданного диапазона объемного содержания волокна и при различных комбинациях упругих свойств волокна и связующего.

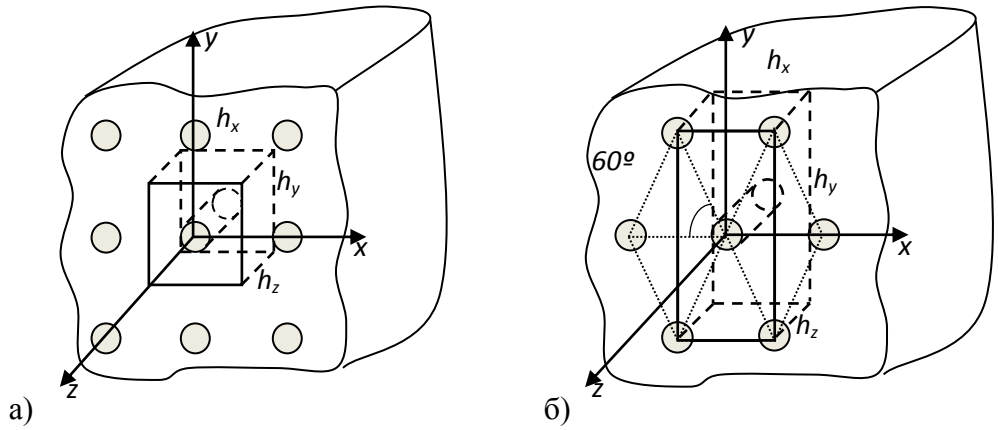
Ключевые слова: *эффективные модули, однонаправленный композит, конечный элемент, представительный элемент, волокно, матрица.*

При проектировании элементов конструкций из композиционных материалов (КМ), образованных однонаправленными слоями, необходимо знание упругих характеристик отдельных слоев. Как правило, информация об упругих свойствах (эффективных модулях) слоя предоставляется производителем в виде паспортных данных материала. В некоторых случаях может быть известна лишь информация о свойствах составляющих компонент и объемном содержании армирующего волокна. Существуют приближенные расчетные подходы, основанные на ряде допущений [1-10], позволяющие определять эффективные упругие свойства. Как показывает практика, значения величин, полученные по приближенным формулам, могут значительно отличаться от экспериментальных. Решая задачу теории упругости методом [11, 12] для представительного элемента (ПЭ) в строгой постановке, свободной от допущений, принятых в приближенных формулах, можно получить эффективные модули близкие к экспериментальным данным [13-15]. Задача нахождения эффективных модулей сводится к определению связи, между усредненными по объему ПЭ компонентами тензоров напряжений $\langle\sigma_{ij}\rangle$ и деформаций $\langle\varepsilon_{kl}\rangle$[16] при заданных граничных условиях на его поверхности, где *i, j, k, l* = 1,2,3:

$$\langle\sigma_{ij}\rangle = C_{ijkl}\langle\varepsilon_{kl}\rangle, \text{ где } \begin{array}{l}\langle\sigma_{ij}\rangle = \int\limits_V \sigma_{ij}(x_i)d\upsilon, \\ \langle\varepsilon_{ij}\rangle = \int\limits_V \varepsilon_{ij}(x_i)d\upsilon\end{array}. \quad (1)$$

Методом конечных элементов (МКЭ) решается задача теории упругости с кинематическими граничными условиями на гранях ПЭ исходя из периодичности структуры однонаправленного композита. В зависимости от характера взаимного расположения волокон однонаправленные КМ можно рассматривать как однородные среды, моделирующие ортотропные (рисунок 1 а) или трансверсально-изотропные (рисунок 1 б) материалы.

Для определения модулей упругости и коэффициентов Пуассона решается задача одноосного растяжения представительного элемента армированной среды относительно трех осей геометрической симметрии (рисунок 1 а и 1 б); для определения модуля сдвига *Gxy* – задача чистого сдвига в плоскости *XY*, где ось *Z* направлена вдоль волокна; для определения модуля сдвига *Gxz* – задача чистого сдвига в плоскости *XZ* .



а) б)

Рис.1 – Представительный элемент:
а – ортотропная среда; б – трансверсально-изотропная среда

Данный подход применим для включений, обладающих геометрической и упругой симметрией относительно плоскостей симметрии решетки. Для определения модулей упругости и коэффициентов Пуассона решена задача теории упругости с кинематическими граничными условиями, исходя из периодичности структуры материала, совпадающей с периодичностью напряженного состояния при одноосном растяжении. На гранях ПЭ (рисунок 1 а) задаются три комбинации линейно независимых перемещений (где Δ – произвольные малые перемещения, Δ=const):

$$u_x^{(1)}\Big|_{x=\pm h_x/2}=\Delta,\ u_y^{(1)}\Big|_{x=\pm h_y/2}=0,\quad u_z^{(1)}\Big|_{x=\pm h_z/2}=0,$$
$$u_x^{(2)}\Big|_{x=\pm h_x/2}=0,\quad u_y^{(2)}\Big|_{x=\pm h_y/2}=\Delta,\quad u_z^{(2)}\Big|_{x=\pm h_z/2}=0, \qquad (2)$$
$$u_x^{(3)}\Big|_{x=\pm h_x/2}=0,\ u_y^{(3)}\Big|_{x=\pm h_y/2}=0,\quad u_z^{(3)}\Big|_{x=\pm h_z/2}=\Delta.$$

МКЭ определяются усредненные напряжения $\sigma x(i)$, $\sigma y(i)$, $\sigma z(i)$ (i=1,2,3) на соответствующих гранях ПЭ, совпадающие со средними напряжениями на бесконечности, которым соответствуют задаваемые на гранях ПЭ перемещения Δ. Эквивалентный элемент при перемещениях (2) находится в однородном напряженном состоянии. По найденным усредненным напряжениям и деформациям с использованием (1) в соответствии с законом Гука можно получить модули упругости и коэффициенты Пуассона эквивалентной среды:

$$E_x=\frac{Dh_x}{2\Delta}\frac{1}{\left(\sigma_y^{(2)}\sigma_z^{(3)}-\sigma_z^{(2)}\sigma_y^{(3)}\right)},\ E_y=\frac{Dh_y}{2\Delta}\frac{1}{\left(\sigma_x^{(1)}\sigma_z^{(3)}-\sigma_z^{(1)}\sigma_x^{(3)}\right)},$$
$$E_z=\frac{Dh_z}{2\Delta}\frac{1}{\left(\sigma_x^{(1)}\sigma_y^{(2)}-\sigma_y^{(1)}\sigma_x^{(2)}\right)} \qquad (3)$$

$$\mu_{xy}=\frac{\sigma_x^{(2)}\sigma_z^{(3)}-\sigma_z^{(2)}\sigma_x^{(3)}}{\sigma_y^{(2)}\sigma_z^{(3)}-\sigma_z^{(2)}\sigma_y^{(3)}},\ \mu_{xz}=\frac{\sigma_y^{(2)}\sigma_x^{(3)}-\sigma_x^{(2)}\sigma_y^{(3)}}{\sigma_y^{(2)}\sigma_z^{(3)}-\sigma_z^{(2)}\sigma_y^{(3)}},\ \mu_{yz}=\frac{\sigma_x^{(1)}\sigma_y^{(3)}-\sigma_y^{(1)}\sigma_x^{(3)}}{\sigma_x^{(1)}\sigma_z^{(3)}-\sigma_z^{(1)}\sigma_x^{(3)}}, \qquad (4)$$

$$\mu_{yx}=\mu_{xy}\frac{E_y}{E_x},\ \mu_{zx}=\mu_{xz}\frac{E_z}{E_x},\ \mu_{zy}=\mu_{yz}\frac{E_z}{E_y},\quad D=\det\begin{pmatrix}\sigma_x^{(1)} & \sigma_y^{(1)} & \sigma_z^{(1)}\\ \sigma_x^{(2)} & \sigma_y^{(2)} & \sigma_z^{(2)}\\ \sigma_x^{(3)} & \sigma_y^{(3)} & \sigma_z^{(3)}\end{pmatrix}.$$

При нахождении модуля сдвига *Gxy* рассматривается бесконечная однородная изотропная среда, армированная двоякопериодической системой круглых включений с квадратной схемой армирования, находящаяся в состоянии чистого сдвига. Для нахождения *Gxy* в неоднородной среде необходимо определить средние напряжения $\sigma x'$ и $\sigma y'$ на границе ПЭ, соответствующие чистому сдвигу ($\sigma y'\infty = -\sigma x'\infty = \tau xy\infty$). Периодичность напряженного состояния имеет место в направлении осей *x', y', z'=z*, повернутых относительно оси волокна *z* на угол 45°, также будет существовать симметрия перемещений относительно новых

координатных плоскостей. В качестве ПЭ выбирается элемент с гранями, параллельными новым координатным плоскостям. Модуль поперечного сдвига для ортотропного материала определяется соотношением: $Gxy=Ex'/(2\cdot(1+\mu x'y'))$. Для его нахождения требуется определить Ex' и $\mu x'y'$ для ПЭ среды относительно новых осей (x', y', $z'=z$), находящегося в напряженном состоянии, соответствующем чистому сдвигу, используя ранее описанный подход. Для трансверсально-изотропного материала поворота осей координат не требуется.

Для определения модуля сдвига Gxz рассмотрена задача чистого сдвига в плоскости XZ для ПЭ, при котором на его гранях действуют только касательные напряжения. Из ПЭ среды выбирается элемент малого объема $dz\times hx\times hy$, в котором усредняются по объему касательные напряжения при смещении грани на малую величину δ (грань смещается на угол γ), и модуль сдвига Gxz может быть найден из закона Гука: $Gxz=\tau xz/\gamma$.

Решение описанных задач реализовано в программном комплексе *ANSYS* в виде блока программ-алгоритмов с автоматизацией расчета эффективных модулей в требуемом диапазоне объемного содержания волокна и при заданных свойствах составляющих компонент. Для оценки корректности используемого подхода проведено сопоставление результатов расчета некоторых эффективных модулей с результатами эксперимента для трех композиционных материалов (таблица).

Таблица - Характеристики композиционных материалов

N	Наименование, описание материала	*Ea*, кгс/мм2	*Ec*, кгс/мм2	μa	μc
1	Бороалюминиевый КМ (*B-Al*) [14]	42000	7250	0.15	0.33
2	Стеклопластик [15]	7444	352	0.22	0.34
3	Графито-эпоксидный КМ с трансверсально-изотропным волокном [16]	продол. 17000, попер. 1400	420	0.15	0.30

Материал 1 (*B-Al*). Отличие результатов расчета и эксперимента для модуля упругости в направлении волокна *Ez* составляет не более 7,7%, для *Ex* – не более 9,7%, при этом при одном и том же объемном содержании волокна ψ имеет место разброс в экспериментальных данных в 11,5% для ψ=0,37 и в 6,1% для ψ=0,5 (рисунок 2).

Ориентируясь на среднее значение для этих точек, расхождение в результатах составляет не более 3,7%. Для модуля сдвига *Gxy* в работе [13] представлено одно экспериментальное значение и для него расхождение с расчетом составляет не более 0,9%.

Материал 2 (стеклопластик). Расхождение в результатах для модуля упругости *Ez* составило не более чем 15,6%, для *Ex* – не более 26,5%, для модуля сдвига *Gzx* – не более -33,8%, для коэффициента Пуассона μzx – не более 5,6%. Для *Ex* и *Gzx* разброс в значениях экспериментальных данных для одного и того же объемного содержания волокна составлял 35,9% и 37,3%, соответственно.

Материал 3 (графито-эпоксидный КМ с трансверсально-изотропным волокном). Отличие результатов расчета и эксперимента для модуля сдвига *Gzx* лежит в диапазоне от -7,2% до 2,5%.

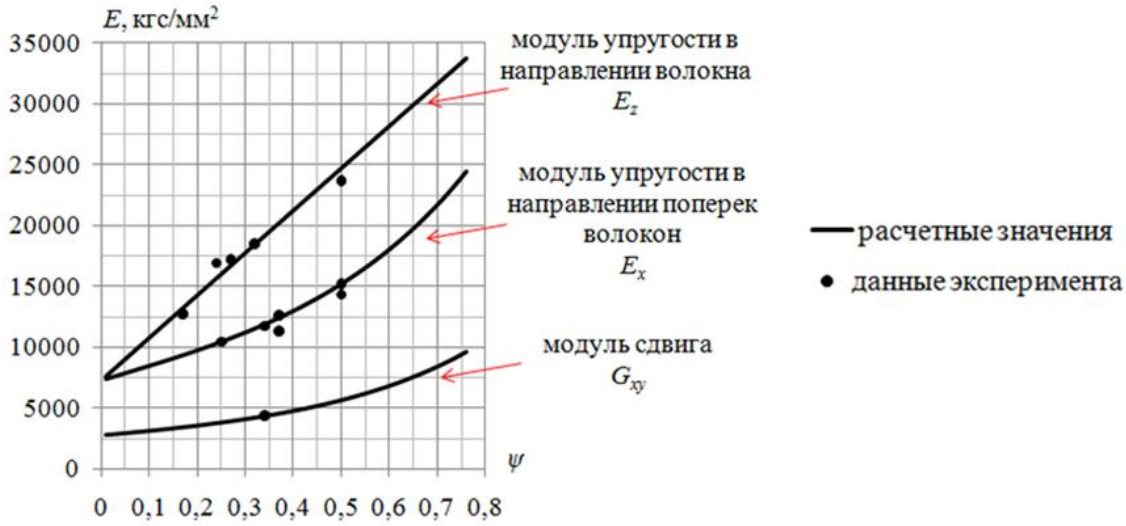


Рис.2 − Результаты расчета и эксперимента для КМ B-Al (материал 1)

Проведено сопоставление результатов расчета по приближенным формулам с результатами по КЭ расчету в зависимости от ψ и от соотношения упругих свойств составляющих компонент, как для модельных задач, так и для ранее представленных материалов (таблица). В целом результаты, полученные при решении задачи теории упругости, показывали лучшее соответствие экспериментальным данным по сравнению с результатами, полученными по приближенным формулам для определения модуля упругости *Ex* и коэффициента Пуассона μxy. Для модуля сдвига *Gzx* формула Уитни и Райли [6] показывает лучшую аппроксимацию экспериментальных данных по сравнению с другими подходами.

Список литературы

1. *Браутман Л.* Композиционные материалы. В 2 т. Т. 2. Механика композиционных материалов / Л. Браутман, Р. Крок; пер. с англ. под. ред. Дж. Сендецки.- М.: Мир, 1978. – 568 с.
2. *Малмейстер А.К.* Сопротивление полимерных и композитных материалов / А. К. Малмейстер, В. П. Тамуж, Г. А. Тетерс. – 3-е изд., перераб. и доп. – Рига: Зинатне, 1980. – 572 с.
3. Композиционные материалы: справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1985. – 592 с.
4. *Hashin Z.* The elastic moduli of fiber-reinforced materials / Z. Hashin, B. W. Rosen // J. Appl. Mech. – 1964. – Vol. 3. – P. 1-9.
5. *Hill R.* Theory of mechanical properties of fibre-strengthened materials: I. Elastic behavior / R. Hill // J. Mech. Phys. Solids. – 1964. – Vol. 12. – P. 199-212.
6. *Whitney J.M.* Elastic properties of fiber reinforced composite materials / J. M. Whitney, M. B. Riley // AIAA Journal. – 1966. – Vol. 4, iss. 9. – P. 1537-1542.
7. *Hermans J.J.* The elastic properties of fiber reinforced materials when the fiber are aligned / J.J. Hermans // Proc. Kon. Ned. Akad. B70. – 1967. – iss. 1. – P. 1-9.
8. *Малмейстер А.К.* Сопротивление полимерных и композитных материалов / А. К. Малмейстер, В. П. Тамуж, Г. А. Тетерс. – 3-е изд., перераб. и доп. – Рига: Зинатне, 1980. – 572 с.
9. *Болотин В.В.* Плоская задача теории упругости для деталей из армированных материалов / В. В. Болотин // В кн.: расчеты на прочность. – М.: Машиностроение. – 1966. - вып. 12. – С. 3-31.
10. Композиционные материалы волокнистого строения / под. ред. Д. М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1970. – 403 с.

11. *Олегин И.П.* Определение эффективных характеристик в перфорированных пластинах с учетом трехмерного напряженного состояния / И. П. Олегин, С. Г. Расторгуев // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2012. – № 4. – С. 91–98.
12. *Нигирич Ю.Б.* Определение эффективных упругих характеристик в гранулированных композитах периодической структуры / Ю.Б. Нигирич, И.П. Олегин // Известия вузов: Новосибирск. – 2007. – №1. – С.39-45.
13. *Сухобокова Г.П.* Расчет характеристик жесткости и прочности однонаправленного слоя и многослойных материалов с перекрестным армированием / В сб. «Проектирование, расчета и испытания конструкций из композиционных материалов» ЦАГИ. – 1973. – вып. I. – С. 5-25.
14. *Jones R. M.* Mechanics of composite materials / R. M. Jones. – 2nd ed.: Philadelphia: Taylor & Francis, 1999. – 519 p.
15. *Chen C.H.A.* Mechanical properties of anisotropic fiber-reinforced composites / C. H. Chen, S. Cheng // J. Appl. Mech. – 1970 г. - Vol. 37(1). – P. 186-189.
16. *Кристенсен Р.* Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – М.: Мир, 1982. – 334 с.

05.13.18

Д.П. Сидоров канд. техн. наук, А.А. Аббакумов канд. техн. наук,
А.И. Егунова канд. ист. наук, С.Д. Шибайкин канд. техн. наук

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, sidorovd@mail.ru

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИМ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ

В большинстве компьютерных систем вся обрабатываемая информация разделяется на классы, которые образуют древовидную иерархию. Более того, типичной является ситуация, когда информация внутри каждого класса зависит от времени ее размещения в этом классе. В статье рассматривается методика управления доступом пользователей к информационным ресурсам, основанная на применении асимметричных алгоритмов шифрования.

Ключевые слова: *асимметричный алгоритм*, *шифрование*, *управление доступом*, *иерархическая информация*.

Функционирование любой крупной организации либо реализация какого-то проекта или сервиса в настоящее время не обходится без применения информационной системы, позволяющей объединить вычислительные и информационные ресурсы в рамках единой корпоративной сети. Построение таких сетей может выполняться либо в виде единого портала, либо в виде распределенной сети сайтов, объединенных в общее информационное пространство [1]. В обоих случаях основными задачами при функционировании подобных систем являются: управление информационными ресурсами, защита информации и управление доступом. Последняя задача особенно важна в рамках так называемой экстранет-технология, т.е. при реализации доступа пользователей из внешних сетей к информационным ресурсам организации.

К таким информационным системам можно отнести: образовательные порталы, системы управления иерархическими базами данных, стриминговые сервисы и т.п.

В подобных системах данные, как правило, разделяются на иерархические классы, имеющие древовидную структуру. Внутри классов информация может упорядочиваться и по времени.

Остановимся подробнее на задаче управления доступом к иерархической информации. Обозначим классы информации – C_i, $i = 1, \ldots, m$. Пусть они являются упорядоченными при помощи некоторого бинарного отношения « $\leq$ ». Причем если пользователь системы имеет доступ к классу C_i, то он должен иметь доступ и к нижестоящему в иерархии классу C_j такому, что $C_j \leq C_i$.

Данную задачу можно решать разными способами, например как в работе [2]. С другой стороны можно использовать подход, основанный на шифровании. Он заключается в том, что каждому классу C_i назначается ключ K_i и вся информация в этом классе шифруется при помощи данного ключа. В этом случае пользователь, получая доступ к классу C_i должен хранить у себя и ключи от всех классов, находящихся ниже в иерархии. Если пользователю необходим доступ к одному из классов, близких к вершине иерархии информационной системы разделенной на большое количество таких классов, то объем хранимой им ключевой информации окажется весьма значительным.

Более предпочтительным в такой ситуации будет метод, основанный на использовании иерархических ключей шифрования. Суть его заключается в следующем: ключ шифрования K_i для класса C_i назначается таким образом, что из него можно вычислить K_j, но только для классов, удовлетворяющих условию $C_j \le C_i$. Таким образом, пользователь, получив доступ в класс C_i, может расшифровать данные в классе $C_j \le C_i$.

К настоящему времени предложено несколько алгоритмов генерации иерархических ключей шифрования, например [3]. В большинстве работ, посвященных данной задаче, основное внимание уделяется разработке алгоритмов, которые позволяют добавлять и удалять классы в иерархию, а также алгоритмов, более эффективных с вычислительной точки зрения.

В данной статье рассматривается ситуация когда информация внутри каждого класса дополнительно зависит от времени ее размещения в этом классе.

Рассмотрим задачу назначения криптографического ключа, зависящего от времени. Пусть каждый класс C_i имеет несколько ключей $K_{i,t}$, где $K_{i,t}$ есть ключ класса C_i в момент времени *t*. Обычно время является дискретной величиной и каждое его значение соответствует некоторому реальному временно́му отрезку – час, день, неделя и т.п. Допустим, что данные были помещены в класс C_j в момент времени *t* и зашифрованы, используя ключ $K_{j,t}$. Пользователь из класса C_i в промежуток времени от t_1 до t_2 обладает информацией $I(i, t_1, t_2)$, где $1 \le i \le m$, $t_1 \le t_2$. С помощью этой информации он может вычислить ключ $K_{j,t}$ класса C_j для момента времени *t*, но только в том случае, если $C_j \le C_i$ и $t_1 \le t \le t_2$. Таким образом пользователь может расшифровать данные, сохраненные в классе C_j в момент времени *t*.

Для реализации данного подхода можно использовать асимметричный алгоритм шифрования, известный под названием RSA [4].

Предположим, что максимальное количество периодов времени есть $T + 1$. Для простоты будем предполагать, что T является целым числом, то есть система начинает работать в момент 0 и заканчивает в момент T. Пусть H хэш-функция, которая не является секретной и известна всем пользователям.

1. Инициализация. Выбираем два случайных больших простых числа p и q. Вычисляем $n = pq$ и $\varphi(n) = (p - 1)(q - 1)$. Затем выбираем случайное целое число a, такое, что $1 < a < n$.

Для каждого класса C_i, $i = \overline{1, m}$ выбираем случайное целое число e_i, $1 < e_i < \varphi(n)$ такое, что $\gcd(e_i, \varphi(n)) = 1$, где gcd – наибольший общий делитель. Затем вычисляем целые числа d_i, $i = \overline{1, m}$, $1 < d_i < \varphi(n)$ такие, что $e_i d_i \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$.

Выбираем случайные целые числа g_1 и g_2 взаимно простые с $\varphi(n)$ и вычисляем h_1 и h_2 такие, что $g_1 h_1 \equiv g_2 h_2 \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$. Затем вычисляем

$$K_i = a^{\prod_{C_k \le C_i} d_k} \bmod n.$$

2. Назначение ключа. Ключ, назначаемый классу C_i в момент времени *t*, есть $K_{i,t} = H(K_i^{h_1^t h_2^{T-t}} \bmod n)$.

3. Открытые и секретные параметры. Открытыми параметрами являются $g_1, g_2, e_1, e_2, ..., e_m, n$. Они должны быть доступны всем пользователям системы. Все остальные параметры являются секретными.

4. Информация $I(i, t_1, t_2)$. Когда пользователь регистрируется в классе C_i на период времени от t_1 до t_2, он получает информацию $I(i, t_1, t_2) = K_i^{h_1^{t_2} h_2^{T-t_1}} \bmod n$. Размер

(количество бит) этой информации равен размеру n, и не зависит от числа классов в иерархии и периода от t_1 до t_2.

5. Вычисление ключей. С помощью $I(i, t_1, t_2)$ и открытых параметров пользователь может вычислить $K_{j,t}$, если $C_j \le C_i$ и $t_1 \le t \le t_2$. Действительно (здесь « $!\le$ » обозначает отрицание « $\le$ »):

$$I^{g_1^{t_2-t} g_2^{t-t_1} \prod_{C_k \le C_i, C_k !\le C_j} e_k} \bmod n = a^{h_1^t h_2^{T-t} \prod_{C_l \le C_j} d_l} \bmod n = K_j^{h_1^t h_2^{T-t}} \bmod n .$$

Рассмотрим возможные области применения данного алгоритма.

В настоящее время существует большое количество сервисов, предоставляющих доступ к своим ресурсам на платной основе (электронные периодические издания, стриминговые сервисы с медиа контентом и т.п.). Как правило подписка осуществляется (т.е. предоставляется доступ) на определенный интервал времени и на всю имеющуюся информацию. С другой стороны, типичной является ситуация, когда подписчики интересуются только определенной частью информационного ресурса и хотят подписаться только на эту часть, чтобы уменьшить плату за подписку. С помощью вышеуказанного алгоритма возможно следующее решение подобной проблемы.

Пусть подписка разделяется на части P_i, $1 \le i \le m$, которые формируют иерархию. Далее, i-я часть подписки S_i состоит из данных отнесенных к P_i, а также данных из всех нижестоящих классов P_j, $P_j \le P_i$. Таким образом, пользователь, который подписался на P_i может получать данные из всех классов, стоящих ниже P_i. Система работает следующим образом:

1. Для каждой даты t компания, предоставляющая доступ, шифрует данные в P_i с помощью ключа $K_{i,t}$, $1 \le i \le m$. Заметим, что только данные в P_i (не все данные из S_i) шифруются с помощью $K_{i,t}$.

2. Когда пользователь подписывается на i-ю часть, т.е. S_i, на период времени от t_1 до t_2, он получает информацию $I(i, t_1, t_2)$.

3. Когда подписчик получает доступ к данным $D(j,t)$ таким, что и $P_j \le P_i$, $t_1 \le t \le t_2$, он использует $I(i, t_1, t_2)$ для получения ключа $K_{j,t}$ и расшифровывает данные D.

Предлагаемый алгоритм позволит значительно повысить надежность и защищенность иерархических систем в плане управления доступом к своим информационным ресурсам. Данный подход может выть реализован как в различных стриминговых сервисах, завоевавших большую популярность в настоящее время, так и в корпоративных информационных системах.

Список литературы

1. *Аббакумов А.А., Резниченко А.Д., Панфилов С.А.* Создание информационных систем на базе распределенных сетей сайтов // Научно-технический вестник Поволжья. №3 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – С. 205-209.

2. *Колегов Д.Н.* Построение иерархического ролевого управления доступом // Прикладная дискретная математика., №3(17), 2012 г. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2012. – С. 70-76.

3. *Harn L., Lin H.Y.* A Cryptographic Key Generation Scheme for Multilevel Data Security // Computers and Security, vol. 9, no. 6, pp. 539-546, 1990.

4. *Сидоров Д.П., Аббакумов А.А.* Разработка программы-тренажера для изучения асимметричного алгоритма шифрования RSA // Международный журнал «Образовательные технологии и общество». Том. 21, №3, 2018 г. – Казань, 2018. – С. 337-348.

05.13.18

[1]И.Н. Сидоров д-р физ.-мат. наук, [2]М.С. Филиппова, [1]А.И. Энская

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
[2]Инжиниринговый центр «КАИ-композит»,
Казань, Sidorovin@mail.ru

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ЖЕСТКОСТИ НА КРУЧЕНИЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ

В статье представлен устойчивый алгоритм расчета касательных напряжений и жесткости на кручение призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения. Устойчивость алгоритма обеспечивается: разложением функции напряжений в виде ряда с представлением его функциональных коэффициентов через их значения на границе слоев; решением системы уравнений для определения граничных значений коэффициентов методом прогонки. Представлен пример расчета жесткости на кручение призматического многослойного стержня, состоящего из жестких стеклопластиковых слоёв и мягких слоёв резины.

Ключевые слова: *призматический многослойный стержень прямоугольного поперечного сечения, жесткость на кручение, касательные напряжения, устойчивый алгоритм расчета, метод прогонки.*

В настоящее время все более широкое распространение получают конструкции машин и подъемно-транспортного оборудования с использованием упругих элементов торсионного типа на основе композиционных материалов (рис. 1).

Один из методов расчета композитных торсионов, учитывающий их конструктивные особенности, основан на следующих основных положениях [1]:

1) торсион моделируется системой прямолинейных стержней постоянной жесткости последовательно и параллельно соединенных между собой;

2) деформация каждого стержня рассматривается в рамках сдвиговой модели типа С.П.Тимошенко с учетом геометрической нелинейности в квадратичном приближении;

3) материал торсиона (отдельных стержней) ортотропный линейно - упругий.

При этом относительные деформации полагаются малыми, а действующие нагрузки достаточно гладкими (нелокальными).

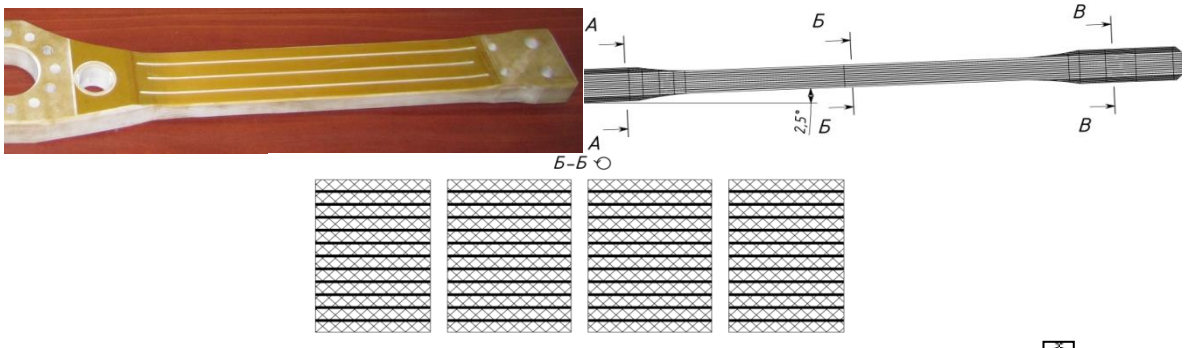


Рис. 1 – Композитный торсион со структурой пакета слоев в сечении *Б - Б*: ⊠ – слои стеклоткани (0º), ■ – слои резины

Построение разрешающих уравнений, описывающих поведение торсиона с учетом перечисленных выше особенностей следующее:

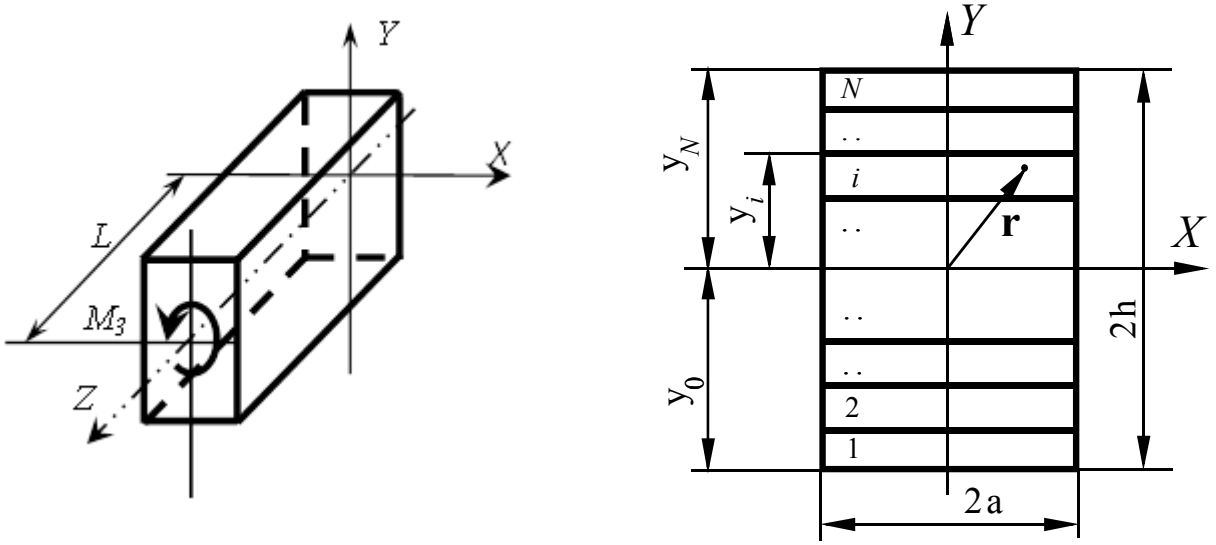
– строятся уравнения деформирования торсиона, в которые входят уравнения равновесия для внутренних силовых факторов, условия сопряжения стержней в местах их ветвления, граничные условия;

– для связи внутренних силовых факторов и обобщенных перемещений вычисляются жесткости отдельных стержней торсиона (жесткости на растяжение, изгибы, сдвиги и кручение);

– строятся матрицы влияния (матрицы податливостей) для произвольного сечения стержня торсиона при постоянном концевом нагружении торсиона и на основе этих матриц вычисляются напряжения при заданном нагружении концевой части торсиона.

Таким образом, одной из задач построения матрицы влияния для произвольного сечения стержня торсиона является задача вычисления жесткости на кручение призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения. Решению этой задачи посвящены работы [2, 3]. Однако при этом для рабочих стержней торсиона, состоящих из жестких ортотропных стеклопластиковых слоёв и мягких изотропных слоёв резины с сильно отличающимися модулями сдвига возникает необходимость создания устойчивого алгоритма вычисления жесткости на кручение.

Как известно, при кручении стержней их первоначально плоские поперечные сечения претерпевают искажение - депланацию, обусловленную касательными напряжениями. Считая стержни достаточно длинными и пренебрегая влиянием краевого эффекта, будем полагать, что депланация определяется лишь действующим в поперечном сечении крутящим моментом. Для решения задачи определения касательных напряжений и соответствующей им жесткости на кручение рассмотрим с позиций трехмерной теории упругости деформацию консольного призматического стержня постоянного поперечного сечения закрепленного на торце $z=0$ и загруженного на торце $z=L$ касательными напряжениями, статически эквивалентными крутящему моменту M_3 (рис. 2а). При этом будем полагать, что ось Z проходит через центр изгиба поперечного сечения. Прямоугольное поперечное сечение (рис. 2б) состоит из N слоев однородного ортотропного материала расположенных параллельно плоскости XZ.



а) б)

Рис. 2. – Призматический многослойный стержень

Запишем для i-го слоя дифференциальные уравнения равновесия трехмерной теории упругости при отсутствии объемных сил (здесь и далее обозначено $(...)_{,i} = \dfrac{\partial(...)}{\partial x_i}$, $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$)

$$\sigma^i_{11,1} + \sigma^i_{21,2} + \sigma^i_{31,3} = 0, \quad (1)$$

$$\sigma^i_{12,1} + \sigma^i_{22,2} + \sigma^i_{32,3} = 0, \quad (2)$$

$$\sigma^i_{13,1} + \sigma^i_{23,2} + \sigma^i_{33,3} = 0. \quad (3)$$

Далее примем общепринятое в теории стержней допущение о том, что напряжениями на площадках параллельных продольной оси стержня можно пренебречь по сравнению с остальными, т.е. выполнены условия

$$\sigma_{11}^{k},\sigma_{12}^{k},\sigma_{22}^{k} << \sigma_{33}^{k},\sigma_{13}^{k},\sigma_{23}^{k}.$$

Воспользуемся условиями совместности деформаций Сен-Венана вида

$$(\varepsilon_{23,1}^{i} + \varepsilon_{12,3}^{i} - \varepsilon_{31,2}^{i})_{,2} = \varepsilon_{22,31}^{i}, \quad (4)$$

$$(\varepsilon_{12,3}^{i} + \varepsilon_{31,2}^{i} - \varepsilon_{23,1}^{i})_{,1} = \varepsilon_{11,23}^{i}. \quad (5)$$

Здесь ε_{kl}^{i} - компоненты тензора малых деформаций равные (u_k^i - k-я компонента вектора перемещений i – го слоя)

$$\varepsilon_{kl}^{i} = \frac{1}{2}(u_{k,l}^{i} + u_{l,k}^{i})\,(k,l = 1,2,3).$$

Из уравнений (1), (2) с учетом принятых выше допущений следует

$$\sigma_{3k,3}^{i} = 0\ (k = 1,2),$$

откуда, принимая во внимание соотношения между напряжениями и деформациями, имеем

$$\varepsilon_{3k,3}^{i} = 0\ (k = 1,2). \quad (6)$$

При кручении призматического стержня деформации удовлетворяют соотношениям

$$\varepsilon_{12}^{i} = \varepsilon_{11}^{i} = \varepsilon_{22}^{i} = \varepsilon_{33}^{i} = 0, \quad (7)$$

а уравнение равновесия (3) принимает вид:

$$\sigma_{13,1}^{i} + \sigma_{23,2}^{i} = 0. \quad (8)$$

Из условий совместности деформаций (4), (5) с учетом (7) имеем

$$\varepsilon_{23,1}^{i} - \varepsilon_{31,2}^{i} = \frac{1}{2}(u_{2,1}^{i} - u_{1,2}^{i})_{,3} = \omega_{21,3} = -\omega_{12,3}, \quad (9)$$

где $\omega_{kl} = \frac{1}{2}(u_{k,l} - u_{l,k})\,(k,l = 1,2,3)$ есть компонента антисимметричного тензора вращения, представляющая собой элементарный поворот окрестности точки относительно оси *Z*. Обозначим погонный угол закручивания $\theta_3 = \omega_{21,3} = -\omega_{12,3}$.

С учетом принятого обозначения (4), (5) и (7), (9) получим:

$$\begin{aligned} \theta_{3,2}^{i} &= (\varepsilon_{23,1}^{i} - \varepsilon_{31,2}^{i})_{,2} = 0, \\ \theta_{3,1}^{i} &= (\varepsilon_{23,1}^{i} - \varepsilon_{31,2}^{i})_{,1} = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Из (10) и совместности деформаций на границе слоёв следует

$$\theta_3^{i} = \varepsilon_{23,1}^{i} - \varepsilon_{31,2}^{i} = \theta\ (i = 1,2,...,N). \quad (11)$$

Введем в каждой подобласти функцию напряжений $\Phi^{i}(\mathbf{r})$ следующим образом [4,5]:

$$\sigma_{13}^{i} = \Phi_{,2}^{i}(\mathbf{r})\,;\sigma_{23}^{i} = -\Phi_{,1}^{i}(\mathbf{r}). \quad (12)$$

При этом уравнение (8) удовлетворяется тождественно, а из (11) с учетом (12) и соотношений упругости получим дифференциальное уравнение для определения функции Φ^{i}

$$\left(\frac{\Phi^i_{,1}}{G^i_{23}}\right)_{,1}+\left(\frac{\Phi^i_{,2}}{G^i_{13}}\right)_{,2}=-2\theta, \tag{13}$$

где $G^i_{j3}(y)$, $(j=1,2)$ - модули сдвига i- го слоя [4,5].

Для рассматриваемого нами многослойного прямоугольного поперечного сечения (рис. 2б) граничные условия на внешнем контуре сечения и условия на границе сопряжения слоев для функций Φ^i имеют вид [1]:

$$\Phi^i=0 \text{ при } x=\pm a \quad (i=1,2,...,N), \tag{14}$$

$$\begin{aligned}&\Phi^1=0 \text{ при } y=-h;\\ &\Phi^N=0 \text{ при } y=+h,\end{aligned} \tag{15}$$

$$\left.\begin{aligned}&\Phi^i=\Phi^{i+1},\\ &\frac{\Phi^i_{,2}}{G^i_{13}}=\frac{\Phi^{i+1}_{,2}}{G^{i+1}_{13}}\end{aligned}\right\} \text{ при } y=y^i \quad (i=1,2,...,(N-1)). \tag{16}$$

При решении уравнения (13) с граничными условиями (14) - (16), искомую функцию и правую часть будем представлять в виде:

$$\Phi^i=\sum_{k=1}^{\infty}\theta\Phi^{ik}(y)\sin[\alpha_k(x+a)], \tag{17}$$

$$2\theta=\theta\frac{4}{a}\sum_{k}^{1,3,5,...}\frac{\sin[\alpha_k(x+a)]}{\alpha_k}, \tag{18}$$

где $\alpha_k=\dfrac{k\pi}{2a}$.

Подставив (17), (18) в уравнение (13) и граничные условия (14) - (16), получим обыкновенные дифференциальные уравнения для определения функций $\Phi^{ik}(y)$

$$\Phi^{ik}_{,22}-\alpha^2_{ik}\Phi^{ik}=-G^i_{13}P^{ik},\ \alpha^2_{ik}=\frac{G^i_{13}}{G^i_{23}}\alpha^2_k \ (i=1,2,...,\mathrm{N}), \tag{19}$$

и граничные условия:

$$\Phi^{1k}(y_0)=\Phi^{Nk}(y_N)=0, \tag{20}$$

$$\left.\begin{aligned}&\Phi^{ik}(y_i)=\Phi^{(i+1)k}(y_i),\\ &\frac{\Phi^{ik}_{,2}(y_i)}{G^i_{13}}=\frac{\Phi^{(i+1)k}_{,2}(y_i)}{G^{i+1}_{13}}\end{aligned}\right\}. \tag{21}$$

Здесь $P^{ik}=\begin{cases}\dfrac{8}{k\pi} \text{ при } k=1,3,5,...;\\ 0 \text{ при } k=2,4,6,...\end{cases}$. Очевидно, что при четных значениях номера гармоники k имеем тривиальное решение $\Phi^{ik}=0$, которое не представляет интереса. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать решение только при нечетных k.

Построим устойчивый алгоритм решения уравнения (19). Для этого представим решение

этого уравнения через значения искомой функции на границе слоев следующего вида:

$$\Phi^{ik}(y)=\frac{1}{\operatorname{sh}(2\alpha_{ik}h_i)}[Z_{(i-1)k}\operatorname{sh}\alpha_{ik}(h_i-\eta)+Z_{ik}\operatorname{sh}\alpha_{ik}(h_i+\eta)]+$$

$$+\frac{\overline{P}^{ik}}{\alpha_{ik}^2}(1-\frac{\operatorname{ch}\alpha_{ik}\eta}{\operatorname{ch}\alpha_{ik}h_i}),\eta\in[-h_i,h_i]. \qquad (22)$$

При этом введены следующие обозначения: $Z_{0k}=\Phi^{1k}(y_0)$; $Z_{jk}=\Phi^{jk}(y_j)=\Phi^{(j+1)k}(y_j)$ (j=1,2,...,(*N*-1)); $Z_{Nk}=\Phi^{Nk}(y_N)$; $y=y_{0i}+\eta$; $y_{0i}=\frac{1}{2}(y_i+y_{i-1})$; $h_i=\frac{1}{2}(y_i-y_{i-1})$, $\overline{P}^{ik}=G_{13}^i\cdot P^{ik}$. Представление (22) автоматически удовлетворяет первому граничному условию (21).

После подстановки представления (22) во второе условие (21) получим следующую систему уравнений для определения значений Z_{ik}:

$$-a_{ik}Z_{(i-1)k}+(c_{ik}+c_{(i+1)k})Z_{ik}-a_{(i+1)k}Z_{(i+1)k}=$$

$$=\frac{4}{a\alpha_k^3}(d_{ik}+d_{(i+1)k})(k=1,3,5,...;i=1,2,...,(N-1)). \qquad (23)$$

Здесь: $a_{ik}=\left(2\exp(-2\alpha_{ik}h_i)\right)\Big/\left(\sqrt{G_{13}^iG_{23}^i}(1-\exp(-4\alpha_{ik}h_i))\right)$; $c_{ik}=a_{ik}\,ct\,\mathrm{h}(2\alpha_{ik}h_i)$; $d_{ik}=\sqrt{G_{23}^i/G_{13}^i}\operatorname{th}\alpha_{ik}h_i$ и в соответствии с граничными условиями (20) $Z_{0k}=Z_{Nk}=0$.

С помощью функции напряжений жесткость стержня на кручение C определяется с учетом приведенных выше соотношений следующим образом ($F^i, S^i, \mathbf{v}^i$ - соответственно площадь поперечного сечения, длина контура и внешняя нормаль по контуру i – го слоя):

$$C=\frac{M_{30}}{\theta}=\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{N}\iint_{F^i}(-\sigma_{13}^iy+\sigma_{23}^ix)dF=-\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{N}\iint_{F^i}(\Phi_{,2}^iy+\Phi_{,1}^ix)dF=$$

$$=\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{N}\{2\iint_{F^i}\Phi^i dF-\oint_{S^i}\Phi^i(\mathbf{r}\cdot\mathbf{v}^i)dF\}=\frac{1}{\theta}2\sum_{i=1}^{N}\iint_{F^i}\Phi^i dF.$$

После некоторых преобразований получим окончательную формулу для жесткости на кручение

$$C=4\sum_{i=1}^{N}\sum_{k}^{1,3,5,...}\frac{1}{\alpha_k\alpha_{ik}}[(Z_{ik}+Z_{(i-1)k})\operatorname{th}\alpha_{ik}h_i+$$

$$+\frac{8G_{13}^i}{a\alpha_k\alpha_{ik}^2}(\alpha_{ik}h_i-\operatorname{th}\alpha_{ik}h_i)],\theta=M_3/C. \qquad (24)$$

Таким образом, решение системы уравнений (23) совместно с соотношениями (12) и (24), позволяют определить касательные напряжения при кручении в любой точке поперечного сечения многослойного стержня согласно формулам

$$\sigma_{13}^i=\frac{M_3}{C}\sum_{k}^{1,3,5,...}\{\frac{\alpha_{ik}}{\operatorname{sh}(2\alpha_{ik}h_i)}[-Z_{(i-1)k}\operatorname{ch}\alpha_{ik}(h_i-\eta)+$$

$$+Z_{ik}\operatorname{ch}\alpha_{ik}(h_i+\eta)]-\frac{\overline{P}^{ik}}{\alpha_{ik}}\frac{\operatorname{sh}\alpha_{ik}\eta}{\operatorname{ch}\alpha_{ik}h_i}\}\sin[\alpha_k(x+a)]; \qquad (25)$$

$$\sigma_{23}^{i} = -\frac{M_3}{C}\sum_{k}^{1,3,5,\ldots}\{\frac{\alpha_k}{\mathrm{sh}(2\alpha_{ik}h_i)}[Z_{(i-1)k}\,\mathrm{sh}\,\alpha_{ik}(h_i-\eta)+$$

$$+ Z_{ik}\,\mathrm{sh}\,\alpha_{ik}(h_i+\eta)] + \frac{\overline{P}^{ik}}{\alpha_{ik}^2}(1-\frac{\mathrm{ch}\,\alpha_{ik}\eta}{\mathrm{ch}\,\alpha_{ik}h_i})\}\cos[\alpha_k(x+a)]. \quad (26)$$

При увеличении количества гармоник коэффициенты системы уравнений (23) для заданного k остаются ограниченными и трех диагональная матрица этой системы обладает диагональным преобладанием. Поэтому решение системы уравнений (23) выполняем экономичным и устойчивым методом прогонки. При этом введем обозначения

$$-a_{ik} = a_i\ ,\ c_{ik} + c_{(i+1)k} = c_i\ ,\ -a_{(i+1)k} = b_i\ ,\ f_i = \frac{4}{a\alpha_k^3}(d_{ik} + d_{(i+1)k}). \quad (27)$$

Решение системы (23) будем искать в виде

$$Z_{ik} = p_i Z_{(i+1)k} + q_i\ ,\ p_1 = -\frac{b_1}{c_1}, q_1 = \frac{f_1}{c_1}, \quad (28)$$

после подстановки которого в (23) получим рекуррентные соотношения для определения p_i, q_i

$$p_i = -\frac{b_i}{c_i + a_i p_{i-1}}, q_i = \frac{f_i - a_i q_{i-1}}{c_i + a_i p_{i-1}}\ ,\ i = 2,\ldots, N-1. \quad (29)$$

При вычислении жесткости на кручение в формуле (24) количество гармоник k определяет точность вычисления C^k . Поэтому вычисление жесткости на кручение C^k осуществляется согласно алгоритму:

а) задается количество гармоник k=1, задаются массивы a_i, b_i, c_i, f_i системы (27);

б) выполняется цикл вычисления массивов p_i, q_i согласно формулам (29);

в) выполняется цикл вычисления массива Z_{ik} согласно формулам (28);

г) вычисляется жесткость C^1 при k=1;

д) задается количество гармоник $k = k$+2;

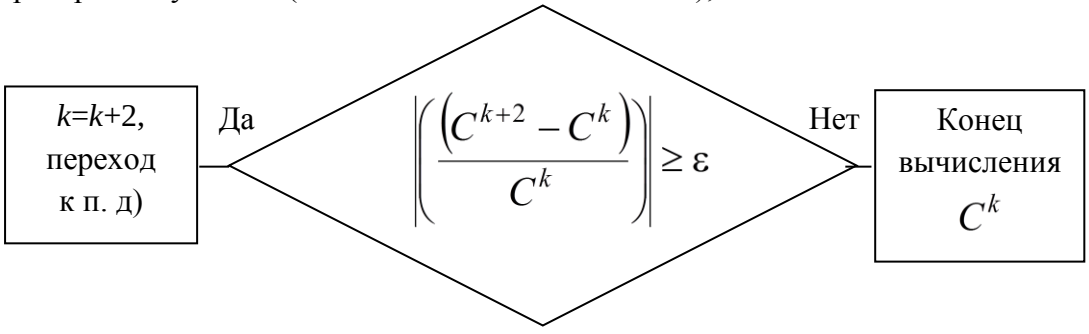
е) задаются массивы a_i, b_i, c_i, f_i системы (27);

ж) выполняется цикл вычисления массивов p_i, q_i согласно формулам (29);

з) выполняется цикл вычисления массива Z_{ik} согласно формулам (28);

и) вычисляется жесткость C^{k+2};

к) проверяется условие (ε - заданная малая величина);



л) вычисляются напряжения согласно формулам (25), (26).

В качестве примера рассмотрим вычисление жесткости на кручение призматического многослойного стержня, состоящего из чередующихся $12-$ти одинаковых стеклопластиковых слоёв с толщиной h_{st}, модулями сдвига $G_{j3}, \left(j=1,2\right)$ и $11-$ти слоев изотропной резины с толщиной h_r, модулем сдвига G_r (рис. 1). В таблице 1 представлены исходные данные и результаты расчета жесткости на кручение, соответствующей количеству гармоник *k* для обеспечения относительной погрешности ε.

Таблица 1 – Вычисление жесткости на кручение призматического многослойного стержня

2*a*, м	2*h*, м	h_r, м	h_{st}, м	G_{13}, МПа	G_{23}, МПа	G_r, МПа	ε	C^k, Н·м2	*k*
27·10-3	40,2·10-3	0,6·10-3	2,8·10-3	6170	2360	2	10-2	15,628	7
							10-3	15,710	13
							10-4	15,729	23
							10-5	15,733	45

В заключении можно отметить следующее:

1. Предложен устойчивый алгоритм расчета касательных напряжений и жесткости на кручение призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения.
2. Представлен пример расчета жесткости на кручение призматического многослойного стержня, показывающий работоспособность алгоритма.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка технологий конструирования и организация высокотехнологичного производства семейства модульных коммунальных машин и подъемно-транспортного оборудования с широким использованием композиционных материалов» шифр «2017-218-09-015».

Список литературы

1. *Савинов В.И., Сидоров И.Н.* Построение разрешающих уравнений упругого деформирования композиционного торсиона несущего винта вертолета. Казань, 1997. 17 с. Деп. в ВИНИТИ 25.07.97, № 2493-В97.
2. *Каримбаев Т.Д., Нуримбетов А.У., Шевченко И.В*. Жесткость на кручение мелкослоистого анизотропного стержня // Технология машиностроения. № 8. 2009. С. 31-36.
3. *Нуримбетов А.У.* Кручение многослойного призматического анизотропного стержня, составленного из ортотропных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика. № 4. 2009. С. 63-75.
4. *Арутюнян Н.Х., Абрамян Б.Л.* Кручение упругих тел. - М.: Физматгиз, 1963. - 688 с.
5. *Лехницкий С.Г.* Кручение анизотропных и неоднородных стержней. - М.: Наука, 1971. - 240 с.

05.13.18

[1]И.Н. Сидоров д-р физ.-мат. наук, [2]М.С. Филиппова, [1]А.И. Энская

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
[2]Инжиниринговый центр «КАИ-композит»,
Казань, Sidorovin@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

В статье представлен устойчивый алгоритм расчета жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения. Устойчивость алгоритма обеспечивается: разложением функции деформаций в виде ряда с представлением его функциональных коэффициентов через их значения на границе слоев; решением системы уравнений для определения граничных значений коэффициентов методом прогонки. Представлен пример расчета жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня, состоящего из жестких стеклопластиковых слоёв и мягких слоёв резины.

Ключевые слова: *призматический многослойный стержень прямоугольного поперечного сечения, жесткость на сдвиг, устойчивый алгоритм расчета, метод прогонки*.

В настоящее время расчет параметров упругих композитных элементов торсионного типа (рис. 1), учитывающий их конструктивные особенности, основан на представлении торсиона в виде системы стержней [1] и наиболее общей трехмерной модели [2, 3]. Стержневая модель строится на следующих основных положениях:

1) торсион моделируется системой прямолинейных стержней постоянной жесткости последовательно и параллельно соединенных между собой;

2) деформация каждого стержня рассматривается в рамках сдвиговой модели типа С.П.Тимошенко с учетом геометрической нелинейности в квадратичном приближении;

3) материал торсиона (отдельных стержней) ортотропный линейно - упругий.

При этом относительные деформации полагаются малыми, а действующие нагрузки достаточно гладкими (нелокальными).

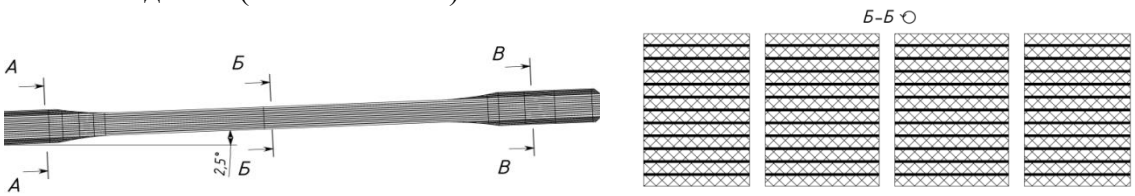
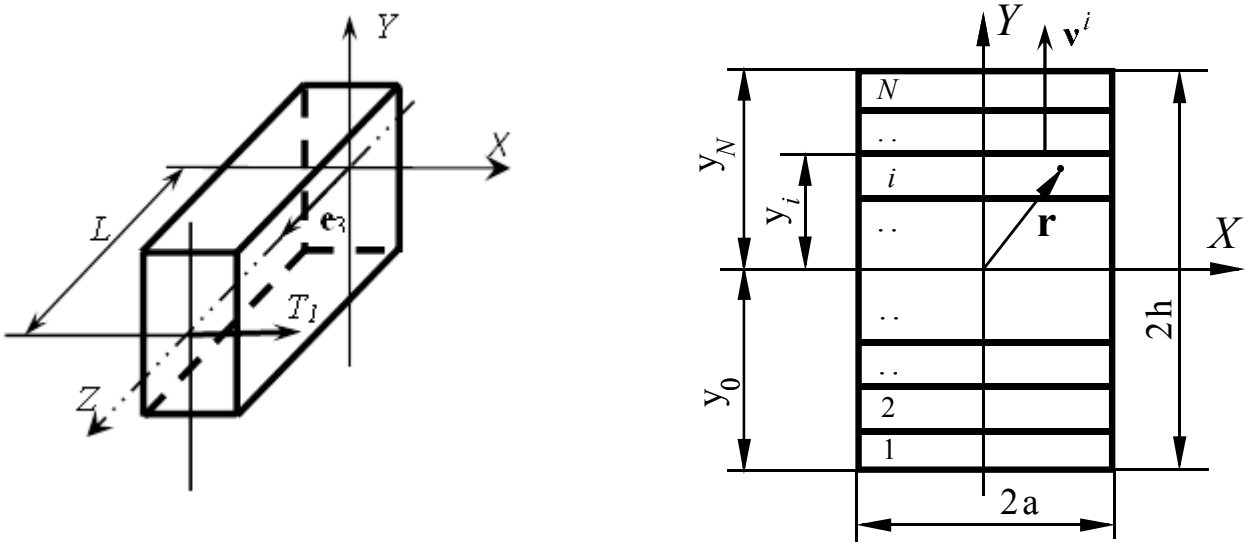


Рис. 1 – Поперечное сечение композитного торсиона со структурой пакета слоев в сечении *Б - Б*: ⊠ – слои стеклоткани (0º), ■ – слои резины.

Построение разрешающих уравнений, описывающих поведение торсиона с учетом перечисленных выше особенностей рассмотрено в работе [1]. При построении этих уравнений возникают задачи вычисления жесткостей на сдвиг и кручение многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения.

Решение задачи определения жесткости на сдвиг в плоскости *XZ* рассмотрим с позиций трехмерной теории упругости деформации консольного призматического стержня постоянного поперечного сечения, закрепленного на торце $z=0$ и загруженного на торце $z=L$ касательными напряжениями, статически эквивалентными поперечной силе T_1 (рис. 2а). При этом будем полагать, что ось *Z* проходит через центр изгиба поперечного сечения, т.е. поперечная сила T_1 не вызывает закручивания стержня. Прямоугольное поперечное сечение (рис. 2б) состоит из *N* слоев однородного ортотропного материала расположенных параллельно плоскости *XZ*.



2а 2б

Рис. 2.– Призматический многослойный стержень

Запишем для *i*-го слоя дифференциальные уравнения равновесия трехмерной теории упругости при отсутствии объемных сил (здесь и далее обозначено $(...)_{,i} = \frac{\partial(...)}{\partial x_i}$, $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$)

$$\sigma^i_{11,1} + \sigma^i_{21,2} + \sigma^i_{31,3} = 0, \quad (1)$$

$$\sigma^i_{12,1} + \sigma^i_{22,2} + \sigma^i_{32,3} = 0, \quad (2)$$

$$\sigma^i_{13,1} + \sigma^i_{23,2} + \sigma^i_{33,3} = 0. \quad (3)$$

Далее примем общепринятое в теории стержней допущение о том, что напряжениями на площадках параллельных продольной оси стержня можно пренебречь по сравнению с остальными, т.е. выполнены условия

$$\sigma^k_{11}, \sigma^k_{12}, \sigma^k_{22} << \sigma^k_{33}, \sigma^k_{13}, \sigma^k_{23}.$$

Воспользуемся условиями совместности деформаций Сен-Венана вида

$$\varepsilon^i_{11,22} + \varepsilon^i_{22,11} = 2\varepsilon^i_{12,12}; \quad (4)$$

$$\varepsilon^i_{22,33} + \varepsilon^i_{33,22} = 2\varepsilon^i_{23,23}; \quad (5)$$

$$\varepsilon^i_{33,11} + \varepsilon^i_{11,33} = 2\varepsilon^i_{31,31}; \quad (6)$$

$$(\varepsilon^i_{31,2} + \varepsilon^i_{23,1} - \varepsilon^i_{12,3})_{,3} = \varepsilon^i_{33,12}; \quad (7)$$

$$(\varepsilon^i_{23,1} + \varepsilon^i_{12,3} - \varepsilon^i_{31,2})_{,2} = \varepsilon^i_{22,31}; \quad (8)$$

$$(\varepsilon^i_{12,3} + \varepsilon^i_{31,2} - \varepsilon^i_{23,1})_{,1} = \varepsilon^i_{11,23}. \quad (9)$$

Здесь ε^i_{kl} - компоненты тензора малых деформаций равные (u^i_k - k - я компонента вектора перемещений i – го слоя)

$$\varepsilon^i_{kl} = \frac{1}{2}(u^i_{k,l} + u^i_{l,k})\,(k,l = 1,2,3).$$

Из уравнений (1), (2) с учетом принятых выше допущений следует

$$\sigma^i_{3k,3} = 0\ (k = 1,2),$$

откуда, принимая во внимание соотношения между напряжениями и деформациями, имеем

$$\varepsilon^i_{3k,3} = 0\ (k = 1,2). \tag{10}$$

Можно показать, что, с учетом принятых выше допущений относительно компонент напряжений, из (10) и условий (4) – (9) справедливы соотношения

$$\varepsilon^i_{33,11} = \varepsilon^i_{33,12} = \varepsilon^i_{33,22} = \varepsilon^i_{33,33} = 0. \tag{11}$$

Из (11) следует, что функция ε^i_{33} имеет вид:

$$\varepsilon_{33} = (c_{00} + c_{10}\, x + c_{20}\, y) + (c_{01} + c_{11}\, x + c_{21}\, y) z. \tag{12}$$

Здесь и далее верхний индекс i при ε_{33}, соответствующий номеру слоя, упущен, поскольку $\varepsilon_{33} = u_{3,3}$ непрерывная функция по всему объему стержня.

Из уравнений равновесия в усилиях и моментах

$$Q_{1,3} = 0,\ M_{2,3} + Q_1 = 0,$$

и статических граничных условий при $z=L$ получим

$$Q_1 = T_1,\ M_2 = T_1(L - z). \tag{13}$$

Далее с учетом (12), отсутствия осевой силы и перерезывающей силы Q_2 при поперечном изгибе в плоскости *YZ* имеем:

$$(c_{00} + c_{01}\, z) = 0,$$
$$M_2 = -D_2(c_{10} + c_{11}\, z) = T_1(L - z),$$
$$M_1 = D_1(c_{20} + c_{21}\, z) = -T_2(L - z) = 0,$$

откуда получаем

$$(c_{00} + c_{01}\, z) = 0,\ (c_{10} + c_{11}\, z) = \frac{T_1}{D_2}(z - L),\ (c_{20} + c_{21}\, z) = 0. \tag{14}$$

Здесь изгибные жесткости D_1, D_2 определяются формулами ($E_3(y)$ - модуль Юнга, F - площадь поперечного сечения стержня (рис. 2б))

$$D_1 = \iint\limits_F E_3(y)\, y^2 dF,\ D_2 = \iint\limits_F E_3(y)\, x^2 dF.$$

Таким образом, после подстановки (14) в (12), деформация ε_{33} запишется как

$$\varepsilon_{33} = \frac{T_1 x}{D_2}(z - L), \tag{15}$$

а с учетом этого и определяющего соотношения $\sigma^i_{33}(y) = E^i_3(y)\varepsilon_{33}$ уравнение равновесия (3) примет вид:

$$\sigma^i_{13,1} + \sigma^i_{23,2} = -E^i_3(y)\frac{T_1 x}{D_2}. \tag{16}$$

Обозначим: S^0, S^i - контуры всего поперечного сечения и его *i*-го слоя (подобласти); $\mathbf{v}^i, \boldsymbol{\tau}^i = [\mathbf{e}_3 \times \mathbf{v}^i]$ - орты внешней нормали и касательной к S^i (рис. 2). Тогда граничные условия для *i*-й подобласти, имеющей общую границу $S^{ij} = S^i \bigcap S^j$ с *j*-й подобластью запишутся в виде:

$$\boldsymbol{\sigma}^i_\nu = 0,\ \mathbf{r} \in S^{i0}, \tag{17}$$

$$\boldsymbol{\sigma}^i_\nu + \boldsymbol{\sigma}^{i+1}_\nu = 0,\ \mathbf{r} \in S^{ii+1}. \tag{18}$$

Здесь $\boldsymbol{\sigma}^i_\nu$ - вектор напряжения с компонентами $\sigma^i_{\nu l} = \sigma^i_{kl}\nu^i_k$ (k,l=1,2,3; и предполагается суммирование по индексу k); i,j=1,2,...,N; $i \neq j$.

Введем для *i*-го слоя функцию деформаций следующим образом:

$$\varepsilon^i_{k3} = \frac{1}{2} Q_1 \varphi^i_{,k} \quad (k=1,2). \tag{19}$$

Подставляя данное представление в уравнение равновесия (16) получим уравнение для определения функции φ^i (G^i_{k3} , $(k=1,2)$ - модули сдвига *i*-го слоя)

$$(G^i_{13}\varphi^i_{,1})_{,1} + (G^i_{23}\varphi^i_{,2})_{,2} = -\frac{E^i_3 x}{D_2}, \tag{20}$$

и граничные условия вида:

$$\varphi^i_{,1} = 0\ ,\ x = \pm a\ ,\ \varphi^1_{,2} = 0\ ,\ y = -h\ ,\ \varphi^N_{,2} = 0\ ,\ y = +h\ ,\quad i = \overline{1,N}\ , \tag{21}$$

$$\left.\begin{aligned} G^i_{23}\varphi^i_{,2} &= G^{i+1}_{23}\varphi^{i+1}_{,2}, \\ \varphi^i &= \varphi^{i+1} \end{aligned}\right\}\ ,\ y = y_i\ ,\quad i = \overline{2\ ,N-1}\ .$$

Искомую функцию φ^i и правую часть уравнения (20) представим в виде:

$$\varphi^i(x,y) = \frac{2}{aD_2}\sum_{k=1}^{\infty}\varphi^{ik}(y)\cos[\alpha_k(x+a)], \tag{22}$$

$$-\frac{E^i_3 x}{D_2} = \frac{2E^i_3}{aD_2}\sum_{k=1}^{1,3,5,\ldots}\frac{\cos[\alpha_k(x+a)]}{\alpha_k^2}, \tag{23}$$

где $\alpha_k = \dfrac{k\pi}{2a}$.

Подставляя представления (22), (23) в уравнение (20) и граничные условия (21), получим для определения функций $\varphi^{ik}(y)$ систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$G^i_{23}\varphi^{ik}_{,22} - \alpha_k^2 G^i_{13}\varphi^{ik} = Q^{ik}\ ,\ i = \overline{1,N} \tag{24}$$

и граничные условия:

$$\varphi^{1k}_{,2}(y_0) = \varphi^{Nk}_{,2}(y_N) = 0\,, \tag{25}$$

$$\left.\begin{aligned} G^i_{23}\varphi^{ik}_{,2}(y_i) &= G^{i+1}_{23}\varphi^{(i+1)k}_{,2}(y_i), \\ \varphi^{ik}(y_i) &= \varphi^{i+1k}(y_i) \end{aligned}\right\},\quad i = \overline{2\ ,N-1}$$

Здесь $Q^{ik} = \begin{cases} \dfrac{E^i_3}{\alpha_k^2} \text{ при} k = 1,3,5,\ldots; \\ 0 \text{ при} k = 2,4,6,\ldots \end{cases}$. При представлении (22) граничные условия (21) при *x*= $\pm a$ удовлетворяются автоматически.

Представим решение (24) через значения искомой функции на границе слоев вида:

$$\varphi^{ik}(y) = \frac{1}{\operatorname{sh}(2\alpha_{ik}h_i)}[V_{(i-1)k}\operatorname{sh}\alpha_{ik}(h_i-\eta) + V_{ik}\operatorname{sh}\alpha_{ik}(h_i+\eta)] -$$

$$-\frac{\overline{Q}^{ik}}{\alpha^2_{ik}}\left(1-\frac{\operatorname{ch}\alpha_{ik}\eta}{\operatorname{ch}\alpha_{ik}h_i}\right), \eta\in[-h_i,h_i]\ ,\ \alpha^2_{ik} = \alpha_k^2\frac{G^i_{13}}{G^i_{23}}\ ,\ \overline{Q}^{ik} = \frac{Q^{ik}}{G^i_{23}}. \tag{26}$$

При этом обозначено: $V_{0k} = \varphi^{1k}(y_0)$; $V_{ik} = \varphi^{ik}(y_i) = \varphi^{(i+1)k}(y_i)$ ($i = \overline{2\ ,N-1}$); $V_{Nk} = \varphi^{Nk}(y_N)$; $y = y_{0i} + \eta$; $y_{0i} = \dfrac{1}{2}(y_i + y_{i-1})$; $h_i = \dfrac{1}{2}(y_i - y_{i-1})$. Кроме того предполагается, что номер гармоники *k* принимает лишь нечетные значения 1,3,5,...,

поскольку при четных значениях k имеем тривиальное решение $\varphi^{ik} = 0$.

Подставив представление (26) в (25), получим систему линейных алгебраических уравнений для определения значений V_{ik}

$$-a_{ik}V_{(i-1)k} + (c_{ik} + c_{(i+1)k})V_{ik} - a_{(i+1)k}V_{(i+1)k} = \tag{27}$$

$$= -\frac{1}{\alpha_k^4}(d_{ik} + d_{(i+1)k}) \ (k = 1,3,5,...; \ i = \overline{0,N}).$$

Здесь: $a_{ik} = \sqrt{G_{13}^i G_{23}^i}\,/\mathrm{sh}(2\alpha_{ik}h_i)$; $c_{ik} = \sqrt{G_{13}^i G_{23}^i}\,\mathrm{cth}(2\alpha_{ik}h_i)$;

$d_{ik} = E_3^i\sqrt{G_{23}^i/G_{13}^i}\,\mathrm{th}\,\alpha_{ik}h_i$, $\quad i = \overline{1,N-1}$ и $\quad a_{0k} = a_{(N+1)k} = 0$, $\quad c_{0k} = c_{(N+1)k} = 0$, $d_{0k} = d_{(N+1)k} = 0$.

Определим жесткость стержня на сдвиг из условия равенства потенциальной энергии деформации сдвига при учете депланации поперечного сечения и в рамках сдвиговой модели типа С.П. Тимошенко. Потенциальная энергия деформации сдвига на единицу длины многослойного стержня определяется следующим выражением (F^i - площадь поперечного сечения i – го слоя)

$$U = \sum_{i=1}^{N} \iint_{F^i} (\sigma_{13}^i \varepsilon_{13}^i + \sigma_{23}^i \varepsilon_{23}^i) dF \ . \tag{28}$$

Как известно, в модели типа С.П. Тимошенко деформации сдвига постоянны в пределах поперечного сечения и в рассматриваемом случае равны:

$$\varepsilon_{13}^i = \frac{Q_1}{2B_1}, \ \varepsilon_{23}^i = 0, \tag{29}$$

где B_1 - жесткость на сдвиг в плоскости XZ.

Подставляя (29) с учетом физических соотношений в выражение (28), получим

$$U = \frac{Q_1^2}{2B_1}. \tag{30}$$

При учете депланации поперечного сечения сдвиговые деформации записываются как:

$$\varepsilon_{13}^i = \frac{1}{2}Q_1\varphi_{,1}^i, \ \varepsilon_{23}^i = \frac{1}{2}Q_1\varphi_{,2}^i$$

и из (28) с учетом граничных условий (25) следует

$$U = \frac{Q_1^2}{2}\sum_{i=1}^{N}\oint_{S^i}\varphi^i[G_{13}^i\varphi_{,1}^i\nu_1^i + G_{23}^i\varphi_{,2}^i\nu_2^i]dS + \frac{Q_1^2}{2}\iint_{F^i}\varphi^i\frac{E_3^i x}{D_2}dF = \frac{Q_1^2}{2D_2}\sum_{i=1}^{N}E_3^i\iint_{F^i}x\varphi^i dF.$$

Приравнивая полученное выражение и (30), будем иметь

$$\frac{1}{B_1} = \frac{1}{D_2}\sum_{i=1}^{N}E_3^i\iint_{F^i}x\varphi^i dF. \tag{31}$$

Подставив в (31) решение для функции φ^i, после интегрирования и преобразований, получим формулу для определения жесткости на сдвиг в плоскости XZ эквивалентного стержня модели С.П. Тимошенко

$$\frac{1}{B_1} = \frac{4}{aD_2^2}\sum_{i=1}^{N}E_3^i\sum_{k}^{1,3,5,...}\frac{1}{\alpha_k^2\alpha_{ik}}[\frac{2\overline{Q}^{ik}}{\alpha_{ik}^2}(\alpha_{ik}h_i - \mathrm{th}\,\alpha_{ik}h_i) -$$

$$-(V_{(i-1)k} + V_{ik})\,\mathrm{th}\,\alpha_{ik}h_i]. \tag{32}$$

Решение системы уравнений (27) выполняем методом прогонки. При этом введем обозначения

$$-a_{ik}=a_i\ ,\ c_{ik}+c_{(i+1)k}=c_i\ ,\ -a_{(i+1)k}=b_i\ ,\ f_i=-\frac{1}{\alpha_k^4}(d_{ik}+d_{(i+1)k}),$$

и систему уравнений (27) преобразуем как

$$a_iV_{(i-1)k}+c_iV_{ik}+b_iV_{(i+1)k}=f_i\ , \tag{33}$$

с граничными условиями вида

$$-\operatorname{cth}(2\alpha_{1k}h_1)V_{0k}+\frac{1}{\operatorname{sh}(2\alpha_{1k}h_1)}V_{1k}-\frac{\overline{Q}^{1k}}{\alpha_{1k}^2}\operatorname{th}(\alpha_{1k}h_1)=0\ ,$$

$$\operatorname{cth}(2\alpha_{Nk}h_N)V_{Nk}-\frac{1}{\operatorname{sh}(2\alpha_{Nk}h_N)}V_{(N-1)k}+\frac{\overline{Q}^{Nk}}{\alpha_{Nk}^2}\operatorname{th}(\alpha_{Nk}h_N)=0\ .$$

Решение системы (33) будем искать в виде

$$V_{ik}=p_iV_{(i+1)k}+q_i\ ,i=\overline{0,.N-1}, \tag{34}$$

$$V_{Nk}=\frac{q_{N-1}}{\operatorname{ch}(2\alpha_{Nk}h_N)-p_{N-1}}-\left(\frac{\overline{Q}^{Nk}}{\alpha_{Nk}^2}\frac{\operatorname{th}(\alpha_{Nk}h_N)}{\operatorname{cth}(2\alpha_{Nk}h_N)}\right)/\left(1-\frac{p_{N-1}}{\operatorname{ch}(2\alpha_{Nk}h_N)}\right),$$

после, подстановки которого в (33) получим рекуррентные соотношения для определения p_i,q_i

$$\begin{gathered}p_i=-\frac{b_i}{c_i+a_ip_{i-1}},q_i=\frac{f_i-a_iq_{i-1}}{c_i+a_ip_{i-1}}\ ,\\ p_0=\frac{1}{\operatorname{ch}(2\alpha_{1k}h_1)},q_0=-\frac{\overline{Q}^{1k}\operatorname{th}(\alpha_{1k}h_1)}{\alpha_{1k}^2\operatorname{cth}(2\alpha_{1k}h_1)},i=\overline{1,N-1}.\end{gathered} \tag{35}$$

После определения $V_{ik}=\varphi^{ik}(y_i)=\varphi^{(i+1)k}(y_i)$ жесткость на сдвиг в плоскости XZ – B_1^k вычисляется согласно формуле (32). В формуле (32) количество гармоник k определяется точностью вычисления B_1 .

Таким образом, вычисление жесткости на сдвиг в плоскости XZ в заданный момент времени осуществляется согласно алгоритму:

а) задается количество гармоник k =1 и вычисляется жесткость B_1^1 согласно формуле (32) на основании решения системы (33) – (35);

б) задается количество гармоник k = k+2;

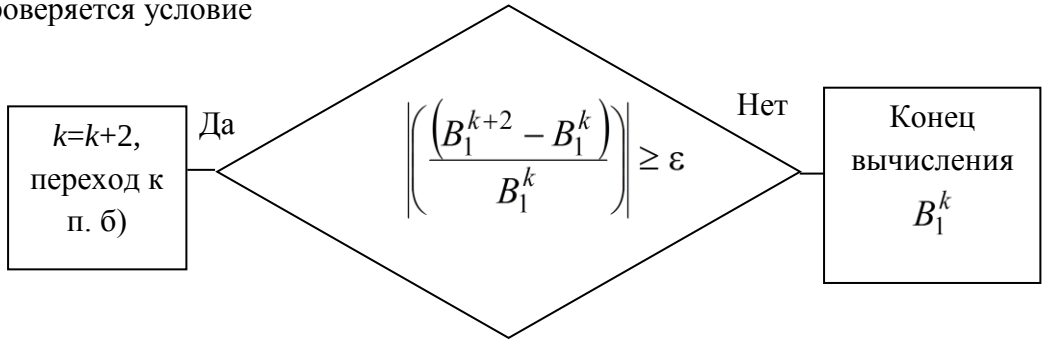
в) задаются массивы a_i,b_i,c_i,f_i системы (33);

г) выполняется цикл вычисления массивов p_i,q_i согласно формулам (35);

д) выполняется цикл вычисления массива $V_{ik}=\varphi^{ik}(y_i)=\varphi^{(i+1)k}(y_i)$ согласно формулам (34);

е) вычисляется жесткость B_1^k согласно формуле (32);

ж) проверяется условие



В качестве примера рассмотрим вычисление жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня, состоящего из чередующихся 12 – ти одинаковых стеклопластиковых слоёв с толщиной h_{st} =2.8 10-3 м и 11 – ти слоев изотропной резины с толщиной h_r =0.6 10-3 м (рис. 1) (сечение *Б – Б*). В таблице 1 представлены исходные данные и результаты расчета жесткости на сдвиг, соответствующей количеству гармоник *k* для обеспечения относительной погрешности ε. Приняты обозначения: E_3^{st} - модуль Юнга стеклопластика; E_3^r - модуль Юнга резины; G_{j3} , $(j=1,2)$ - модуль сдвига стеклопластика; G_r - модуль сдвига резины.

Таблица 1 – Вычисление жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня 2*a* =27·10-3 м, 2*h*=40.2·10-3 м

E_3^{st}, МПа	E_3^r, МПа	G_{13}, МПа	G_{23}, МПа	G_r, МПа	ε	B_1^k, Н	*k*
30000	6	6170	2360	2	10-3	4.66495·106	3
					10-5	4.66493·106	5
					10-7	4.66493·106	11

Таким образом, предложен устойчивый алгоритм расчета жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения. На примере расчета жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня в рабочем сечении показана работоспособность алгоритма.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка технологий конструирования и организация высокотехнологичного производства семейства модульных коммунальных машин и подъемно-транспортного оборудования с широким использованием композиционных материалов» шифр «2017-218-09-015».

Список литературы

2. *Савинов В.И., Сидоров И.Н.* Построение разрешающих уравнений упругого деформирования композиционного торсиона несущего винта вертолета. Казань, 1997. 17 с. Деп. в ВИНИТИ 25.07.97, № 2493-В97.

2. *Голованов А.И., Митряйкин В.И., Шувалов В.А.* Расчет напряженно-деформированного состояния торсиона несущего винта вертолета // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2009. № 1. С. 66-69.

3. *Горелов А.В., Дунай О.О., Сидоров И.Н.* Метод расчета характеристик демпфирующих свойств композитного торсиона несущего винта вертолета // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2012. № 2. С. 148-158.

15.13.18

И.П. Ситдикова канд. техн. наук, Н.В. Абдулкина

Альметьевский государственный нефтяной институт,
энергомеханический факультет,
кафедра автоматизации и информационных технологий,
Альметьевск, abdulkinanv@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА

Рассматривается задача составления математической модели системы поддержания пластового давления на основе уравнений Навье-Стокса. Описаны расчетные формулы для определения чувствительности модели к изменению температуры, плотности и вязкости.При выборе формального аппарата для описания процессов принятий решений учтены ограничения параметров.

Ключевые слова: *уравнения Навье-Стокса, модель, система.*

Система поддержания пластового давления(ППД) представляет собой комплекс технологического оборудования необходимый для транспортировки и закачки технологической жидкости в пласт нефтяного месторождения с целью поддержания пластового давления и достижения максимальных показателей отбора нефти из пласта.Основными измеряемыми параметрами в системе ППД являются давление и расход жидкости [1].

На современном этапе развития систем ППД применяются преимущественно централизованные системы закачки жидкости в пласт – кустовые насосные станции (КНС), к каждой из которых подключены десятки нагнетательных скважин. При остановках КНС, связанных ссоблюдением циклического режима закачки или с регулярным ограничениемпикового потребления электрической энергии, возникают обратные перетоки между нагнетательными скважинами, что приводит к потере энергии в одних пластах и избыточному, непроизводительному поступлению жидкости в другие.

Чтобы оценить непроизводительные потери, которые возникают при остановке КНС, составим математическую модель, описывающую основные параметры системы с требуемой точностью.

При составлении математической модели с заданной точностью важным критерием является выбор формального аппарата. В данном случае применим основные уравнения гидродинамики, в частности, уравнения Навье-Стокса.

Предположим, что:

а) Неустановившийсяхарактер потока жидкости–когда скорость течения жидкости в трубопроводах падает по мере удаления от насосов (рис. 1).

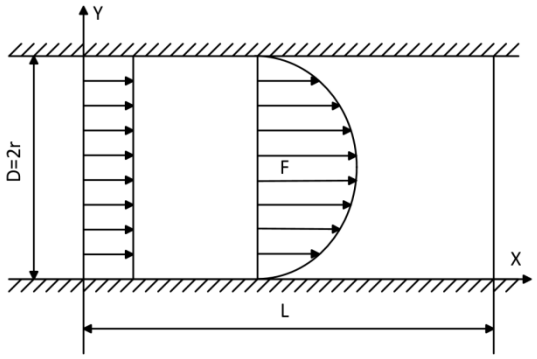


Рис. 1 - Течение жидкости в трубопроводе

При известной скорости течения жидкости сила вязкого трения определяется:

$$F_B = \mu \frac{d^2 \vartheta}{dy^2} \approx \mu \frac{\vartheta}{r^2},$$

где μ – динамическаявязкость;

$\vartheta = \lfloor \vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z \rfloor$ – скорость потока жидкости;

r- радиус трубопровода.

Сила инерции между слоями потока жидкости в случае отсутствия внешних возмущающих воздействий определяется:

$$F_И = -\rho \frac{d\vartheta_x}{dt} \approx \rho \frac{\vartheta^2}{r}$$

где ρ – плотность жидкости;

б) Число Рейнольдса должно быть больше единицы, так как жидкость является невязкой, то естьсилы вязкости значительно меньше сил инерции:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \upsilon r}{\mu} \succ 1 \quad (1)$$

в) Технологическаяжидкость в системе ППД является гетерогенной,так как представляет собой смесь воды, солей и других примесей.

г) Технологическая жидкостьв системе ППД является практически несжимаемой.

Исходя из описанных предположений, уравнение Навье-Стокса для систем ППД в общем виде будет иметь следующий вид:

$$\rho \frac{d\vartheta}{dt} + \nabla p - \mu \Delta \vartheta + \rho(\vartheta * \nabla)\vartheta - \rho F = 0$$

где p – давление;

$F = \lfloor F_x, F_y, F_z \rfloor$ – массовая сила;

x,y,z,t- пространственные координаты и время[2].

В проекциях на координатные оси:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial \vartheta_x}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial z^2} \right) + \rho \left(\vartheta_x \frac{\partial \vartheta_x}{\partial x} + \vartheta_y \frac{\partial \vartheta_x}{\partial y} + \vartheta_z \frac{\partial \vartheta_x}{\partial z} \right) - \rho F_x = 0 \\ \rho \frac{\partial \vartheta_y}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial y} - \mu \left(\frac{\partial^2 \vartheta_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta_y}{\partial z^2} \right) + \rho \left(\vartheta_x \frac{\partial \vartheta_y}{\partial x} + \vartheta_y \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} + \vartheta_z \frac{\partial \vartheta_y}{\partial z} \right) - \rho F_y = 0 \\ \rho \frac{\partial \vartheta_z}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial z} - \mu \left(\frac{\partial^2 \vartheta_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta_z}{\partial z^2} \right) + \rho \left(\vartheta_x \frac{\partial \vartheta_z}{\partial x} + \vartheta_y \frac{\partial \vartheta_z}{\partial y} + \vartheta_z \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z} \right) - \rho F_z = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) содержит 3 уравнения и 6 неизвестных $(\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z, \rho, \mu, p)$, что делает ее нерешаемой, поэтому система дополняется:

1. уравнением неразрывности (закон сохранения массы):

$$div(\vartheta) = 0 \quad (3)$$

2. уравнением состояния (закон распределения сил):

$$F(p, \rho, T) = 0 \quad (4)$$

3. уравнением Бачинского (зависимость динамической вязкости от температуры):

$$\mu(T) = \frac{A(T)}{V_M - B(T)} \quad (5)$$

где: V_M – молярный объем жидкости;

А и В – определенные функции от температуры;

4. уравнением закона сохранения энергии $\Delta E = 0$ [3].

Таким образом, уравнение Навье-Стокса для систем ППД будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \rho\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial t} + \dfrac{\partial p}{\partial x} - \mu\left(\dfrac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial z^2}\right) + \rho\left(\vartheta_x\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial x} + \vartheta_y\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial y} + \vartheta_z\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial z}\right) - \rho F_x = 0 \\ \rho\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial t} + \dfrac{\partial p}{\partial y} - \mu\left(\dfrac{\partial^2 \vartheta_y}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 \vartheta_y}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 \vartheta_y}{\partial z^2}\right) + \rho\left(\vartheta_x\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial x} + \vartheta_y\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial y} + \vartheta_z\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial z}\right) - \rho F_y = 0 \\ \rho\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial t} + \dfrac{\partial p}{\partial z} - \mu\left(\dfrac{\partial^2 \vartheta_z}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 \vartheta_z}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 \vartheta_z}{\partial z^2}\right) + \rho\left(\vartheta_x\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial x} + \vartheta_y\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial y} + \vartheta_z\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial z}\right) - \rho F_z = 0 \\ div(\vartheta) = 0 \\ F(p,\rho,T) = 0 \\ \mu(T) = \dfrac{A(T)}{V_M - B(T)} \\ \Delta E = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Система (6) состоит из 7 уравнений с 7 неизвестными $(\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z, \rho, \mu, p, T)$ и имеет решение.

Получить ряд частных, практически значимых решений можно сократив число неизвестных, сделав их постоянными величинами, то есть ввести определенные упрощения или ограничения. В системахподдержания пластового давления такими величинами являются: температура $(T = const)$; плотность $(\rho = const)$;динамическая вязкость (примем $\mu = 0$).

Приняв данные параметры за постоянные величины, получаем систему из четырех уравнений с четырьмя неизвестными $(\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z, p)$:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial t} + \vartheta_x\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial x} + \vartheta_y\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial y} + \vartheta_z\dfrac{\partial \vartheta_x}{\partial z} = F_X - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial x} \\ \dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial t} + \vartheta_x\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial x} + \vartheta_y\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial y} + \vartheta_z\dfrac{\partial \vartheta_y}{\partial z} = F_Y - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial y} \\ \dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial t} + \vartheta_x\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial x} + \vartheta_y\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial y} + \vartheta_z\dfrac{\partial \vartheta_z}{\partial z} = F_Z - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial z} \\ div(\vartheta) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Полученная системапредставляет собой частные случаи решения уравненийНавье-Стокса.

Она выражает связь между расходом жидкости в трубопроводе и давлением через скорость потока ирадиус трубы.

$$\begin{cases} \vartheta_x(r) = -\dfrac{1}{4\mu}\dfrac{dp}{dx}(a^2 - r^2) \\ \vartheta_y(r) = -\dfrac{1}{4\mu}\dfrac{dp}{dy}(a^2 - r^2) \\ \vartheta_z(r) = -\dfrac{1}{4\mu}\dfrac{dp}{dz}(a^2 - r^2) \end{cases} \quad (8)$$

где:*a* –координата центра трубы

r – радиус удаления от центра [4].

Зная расход на каждом участке,математическая модель (7) позволяет еще до остановки КНС с определенной точностью вычислить перепад давления и определить направление потока в каждом узле системы ППД (8).

Повысить точность используемой в системах ППД математической модели, можно включив в технологическую схему термометры и плотномеры, тем самым избавившись от введенных ограничений.

Список литературы

1. Краткий информационный отчет о научно-исследовательской работе по договору на оказание услуг №289/0002/2115/47 от 01.05.2017г. по теме: «Анализ применения реверсивных расходомеров в системе ППД (метод анализа балансовых групп)».
2. *Хмельник С.И.* Уравнения Навье-Стокса. Существование и метод поиска глобального решения. Израиль, 2010.
3. *Деги Д.В., Старченко А.В.* Численное решение уравнений Навье – Стокса на компьютерах с параллельной архитектурой. Вестник Томского государственного университета, 2012.
4. *Давыдова М.А.* Лекции по гидродинамике. М.: Наука. Физматлит, 2010.

05.13.18

С.А. Соловьев канд. физ.-мат. наук, О.В. Соловьева канд. физ.-мат. наук,
Р.Р. Хусаинов, Г.Р. Бадретдинова

Казанский государственный энергетический университет,
институт цифровых технологий и экономики, кафедра инженерной кибернетики,
Казань, solovev.sa@kgeu.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данном исследовании рассматривается работа предфильтра, применяемого в системах фильтр-предфильтр. Проведены численные расчеты течения газа в пористой среде в различных комбинациях фильтров и предфильтров. Получены зависимости эффективности осаждения частиц от геометрических параметров фильтров. Результаты работы показывают, что предварительный фильтр в случае пяти и десяти пластин повышает эффективность осаждения для высокопористого ячеистого материала. Предфильтр с пятью изогнутыми пластинами является более предпочтительным по сравнению с десятью пластинами.

Ключевые слова: *высокопористый ячеистый материал, предфильтр, численный расчет.*

Введение

Высокие требования, предъявляемые в области экологии и безопасности окружающей среды, приводят к увеличению производства фильтров. В последнее время наблюдается интенсивное использование мембран в области фильтрации воздуха [1]. В настоящее время разработанысовременные технологии для очистки загрязняющих веществ, которые оказывают вредное воздействие на экологическую систему в результате деятельности человека [2]. Среди них широко используются технологии физического, химического или биологического восстановления, мембранная фильтрация, коагуляция, адсорбция и обратный осмос.

Работы [3-7] показывают, что системы с предварительными фильтрами используются в различных областях промышленности. Например, при производстве оливкового масла эффективное разделение фракций осуществляется с использованием предварительного фильтра [8]. Предварительные фильтры могут являться основным компонентом многих систем фильтрации. Например, в двигателях строительной техники большая часть частиц пыли может быть отфильтрована предварительным воздушным фильтром перед подачей газа в фильтр тонкой очистки, что увеличивает период технического обслуживания.

Целью создания оптимальных систем фильтрации является снижение сопротивления и повышениеэффективности осаждения в предварительном фильтре. Однако довольно сложно исследовать поведение потока внутри предварительного фильтра экспериментальным или аналитическим методом.

Со стремительным темпом развития компьютеров и CFD, численное моделирование стало важным инструментом для создания новых моделей различных устройств. Данное исследование связано с созданием модели системы фильтр-предфильтр, которая может повысить общую эффективность осаждения частиц и увеличить срок эксплуатации фильтра.

Постановка задачи

В данной работе проведено сравнение двух вариантов геометрии предфильтра, оценена работа системы фильтр-предфильтр. В качестве основного фильтра был выбран высокопористый ячеистый материал эффективной толщины, при которой эффективность осаждения частиц в фильтре достигает своего максимума, и дальнейшее ее увеличение нецелесообразно. Для выбранных параметров среды толщина пористой области составляет 4

см. Предварительные фильтры представляют собой изогнутые пластины высотой 1 мм, длина которых составляет 1 см. Пластины расположены таким образом, что между ними отсутствует просветность. В первом случае количество пластин равно десяти, во втором пяти. Диаметр ячеек высокопористого материала составляет $d_c = 6$ мм, пористость среды $\varepsilon = 0.8$. Входной патрубок расположен ближе к пластинам и составляет 0.5см, для сходимости расчета длина выходного патрубка выбрана равной 3 см. Общая длина расчетной модели составляет 8.5 см. Данные геометрии представляют собой комбинацию фильтра с предфильтром с целью увеличенияэффективности фильтра при пониженном сопротивлении среды. На рис. 1 представлена схема модели, использованной при расчетах.

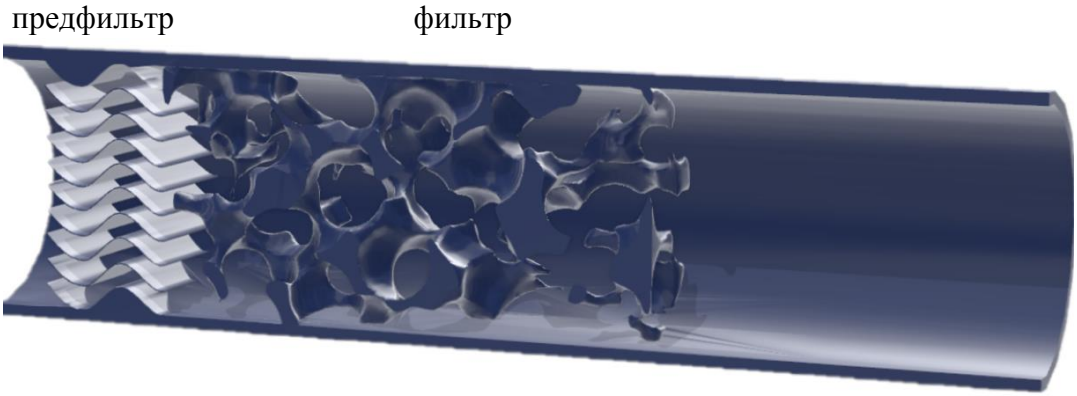


Рис. 1– Схема модели системы предфильтр-фильтр (предфильтр с десятью пластинами)

Для расчета течения газовзвеси в пористой среде используется внутренний объем геометрии, поскольку течение происходит в межпоровом пространстве. Расчетная скорость составляет 1 м/с, что обеспечивает турбулентный режим течения. Для проведения прямого численного моделирования течения аэрозоля число элементов сетки в среднем составляло 18 миллионов ячеек. На границах расчетной области задавались следующие граничные условия: значение массового расхода на входе и значение атмосферного давления на выходе, пластины и остальные зоны принимались за стенки по умолчанию. Гидродинамические расчеты проведены в CFD пакете ANSYS Fluent (v. 19).

Результаты численного моделирования

На рис. 2 показано изменение эффективности осаждения в зависимости от диаметра частиц с различными вариантами комбинаций фильтров и предфильтров.

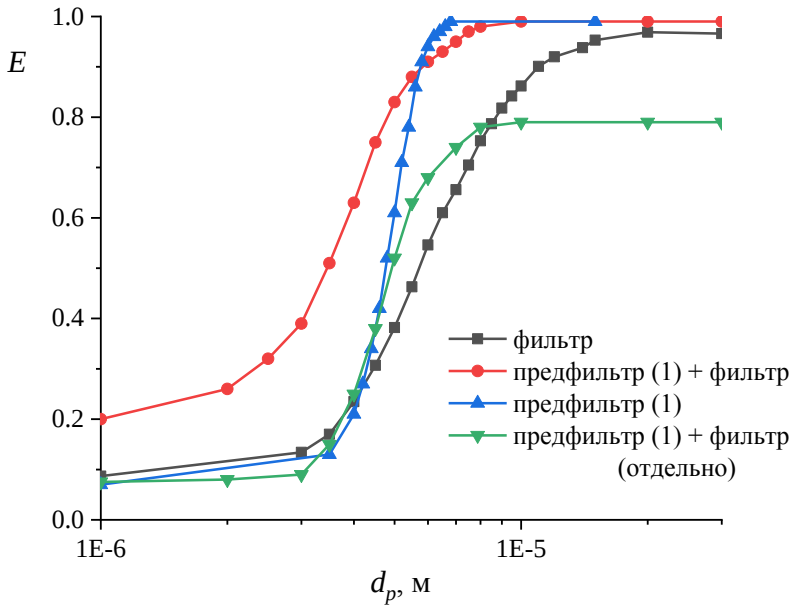


Рис. 2– Зависимость эффективности осаждения частиц для различных моделей фильтров; предфильтр (1) – предфильтр с 5 пластинами

Кривая эффективности осаждения для системы фильтр-предфильтроказывается выше, чем кривая для модели высокопористого ячеистого фильтра в отдельности. Можно сделать вывод, что предварительный фильтр увеличивает предельную эффективность осаждения фильтра. На рисунке также показаны кривые для модели предфильтра с пятью пластинами и системы фильтров. В последнем случае в расчете были установлены параметры, при которых частицы оседали только на стенках предфильтра, но не на самом фильтре. Это было сделано для изучения того, какую нагрузку предфильтр снимает с основного фильтра. Рисунок демонстрирует, что эффективностимоделей сильно разнятся. Данный факт обусловлен изменением гидродинамики за предварительным фильтром, где в первом случае имеется свободный поток, во втором – сопротивление пористой среды.

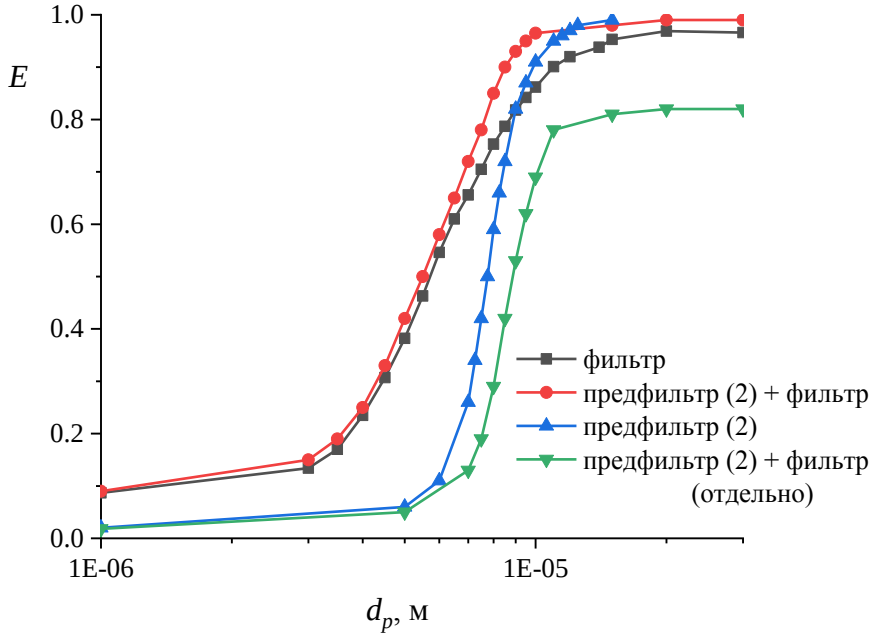


Рис. 3– Зависимость эффективности осаждения частиц для различных моделей фильтров;предфильтр (2) – предфильтр с 10 пластинами

Сравнение результатов расчетов для двух вариантов предварительных фильтров, показанных на рисунках 2 и 3, показывает, что эффективность осаждения предварительного фильтра с пятью пластинами выше эффективности предварительного фильтра с десятью пластинами. Следует отметить, что с добавлением предварительного фильтра перепад давления по сравнению с высокопористым ячеистым фильтром увеличивается. Оценка значения перепада давления в предварительном фильтре показывает, что для случая с 5 пластинами перепад давления оказывается выше, чем в предварительном фильтре с 10 пластинами.

Заключение

Рассмотрено несколько моделей предварительных фильтров. Проведено детальное численное моделирование течения газа в пористой среде с предварительным фильтром и без него. Сравнение кривых эффективности осаждения частиц для различных моделей фильтров демонстрирует увлечение предельной эффективности для системы фильтр-предфильтр.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01188.

Список литературы

1. *Galka, N., Saxena, A.* High efficiency air filtration: The growing impact of membranes // Filtr.& Separ. – 2009. – Vol. 46, №. 4. – P. 22-25.
2. *Ye, S., Zeng, G., Wu, H., Zhang, C., Dai, J., Liang, J., Yu, J., Ren, X., Yi, H., Cheng, M., Zhang, C.* // Critical rev.in biotechnology. – 2017. – Vol. 37, №. 8. – P. 1062-1076.
3. *Guerrini, L., Masella, P., Migliorini, M., Cherubini, C., Parenti, A.* // J. of food engineering. – 2015. – Vol. 157. – P. 84-87.
4. *Cooper, A., Oldinski, R., Ma, H., Bryers, J. D., Zhang, M.* // Carbohydrate polymers. – 2013. – Vol. 92, №. 1. – P. 254-259.
5. *Nkwonta, O., Ochieng, G.* Roughing filter for water pre-treatment technology in developing countries: A review // International J.of Physical Sciences. – 2009. – Vol. 4, №. 9. – P. 455-463.
6. *Tanaka, T., Nishimoto, T., Tsukamoto, K., Yoshida, M., Kouya, T., Taniguchi, M., Lloyd, D. R.* // J. of membrane science. – 2012. – Vol. 396. – P. 101-109.
7. *Han, M., Zhao, Z. W., Gao, W., Cui. F. Y.* // Bioresource technology. – 2013. – Vol. 145. – P. 17-24.
8. *Soccol, O.J., Rodrigues, L.N., Botrel, T.A., Ullmann, M.N.* // Brazilian Archives of Biology and Technology. – 2007. – Vol. 50, №. 2. – P. 193-199.

05.13.18

С.А. Федосин канд. техн. наук, Н.П. Плотникова канд. техн. наук,
А.И. Егунова канд. ист. наук, К.Э. Рыскин

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, vystasalla@gmail.com, valiant1994@mail.ru, fedosinsa@mrsu.ru, linsierra@yandex.ru,

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматривается структура рекуррентной нейронной сети для классификации данных нормативно-справочной информации промышленного предприятия. Проанализированы методы повышения точности обучения нейронной сети с использованием выборок с различным соотношением результирующих классов.

Ключевые слова: *машинное обучение, искусственная нейронная сеть, рекуррентная нейронная сеть, классификация, классы, объекты, Keras.*

При обработке нормативно-справочной информации возникает необходимость её отнесения к некоторому классу, что является обязательным критерием для корректного хранения полученной информации. В данной статье рассматривается процесс классификации продукции некоторого промышленного предприятия.

Сопоставление единицы нормативно-справочной информации (НСИ) классу выглядит следующим образом (см. таблицу).

Таблица. Соответствие записи НСИ заданному классу

Записи НСИ	Класс
Доска пола террасная лиственница сорт 5 27*140, 4 м.	Изделия строганые
Бумага ламинированная полиэтил (ВПМ 100+60РЕ) ф. 112 см, d. 115-120 cm, Гильза d 76,6х10 мм, Упак.	Бумага ламинированная
Дистиллированное талловое масло ДТМ 15	Масло талловое дистиллированное

Подразумевается, что единицей справочной информации выступает наименование изделия, а классом – общий признак, объединяющий эти наименования на логическом уровне.

На небольших наборах данных подобную классификацию (соотнесение) можно произвести в ручном режиме, но при увеличении объема эта задача может занять значительное время. Для автоматизации процесса предлагается решение с использованием рекуррентной нейронной сети, построенной и сконфигурированной с помощью библиотеки Keras [1].

Для решения поставленной задачи была построена рекуррентная нейронная сеть, структура которой приведена на рисунке 1.

Embedding-слой позволяет производить преобразование конструкций естественного языка в непрерывное векторное пространство средствами самой искусственной нейронной сети.

Слой LSTM – слой нейронов, охваченных обратной связью, способный к обучению долговременным зависимостям.

Слой Dropout с некоторым параметром за один цикл обучения рассматривает все нейроны определенного слоя и с вероятностью, равной этому параметру, полностью исключает их из сети на время итерации, то есть осуществляет так называемое прореживание сигналов нейронной сети.

Слой Dense служит выходом нейронной сети, его размер равен количеству различных классов для решаемой задачи.

Данные для обучения были представлены в виде пар “наименование продукции-класс”. Значение класса было представлено в виде вектора: [0,0,0,1,0,0].

Наличие единицы в позиции *n* вектора означает, что данное наименование принадлежит классу под номером *n*.

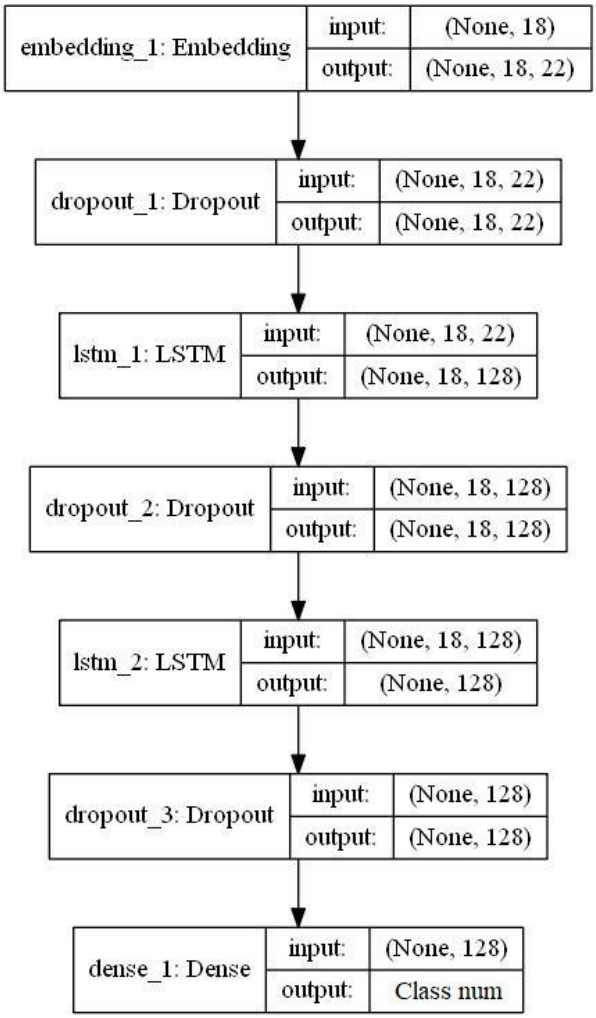


Рис. 1 - Структура нейронной сети

Каждая строка с описанием продукта была преобразована в вектор чисел с помощью функции *one_hot()* библиотеки *Keras*, по своему принципу работы похожей на алгоритмы, описанные в статьях [3-5], с последующим выравниванием длин полученных векторов посредством вставки нулей.

Общее количество классов составляет 34, общее количество элементов в них - 666. Апробация выполнялась на примере, когда количество элементов в классах, сильно отличается. Изначальное соотношение классов было представлено следующим образом:

x=[28,26,4,8,2,1,30,30,28,30,30,18,3,29,29,30,5,3,1,3,30,30,30,7,8,30,30,12,30,30,30,25,6,30].

Коэффициент вариации составил 61,96%. Мера усреднения разброса изначального соотношения классов соответствовала 32,57%. Данная выборка была разделена на обучающую и валидационную в соотношении 1:1. Обучение заняло 300 эпох, коэффициент dropout-слоя составил 0.05. При обучении использовалась функция потерь categorical crossentropy.

Графики изменения метрик точности классификации на обучающей (acc) и валидационной (val_acc) выборках в процессе обучения представлены на рисунке 2.

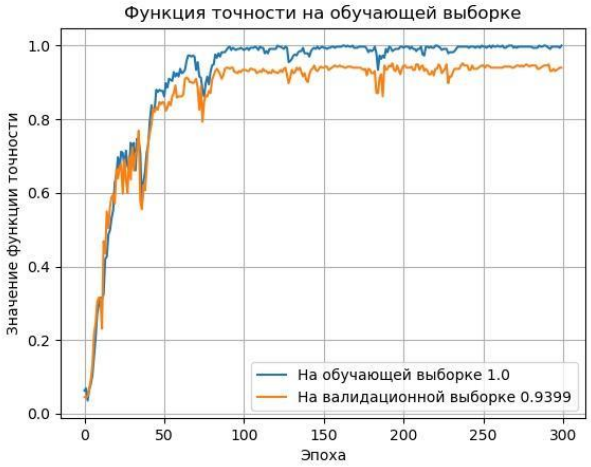


Рис. 2 - Значение функции точности на обучающей и валидационной выборках

Получившаяся точность 93.99% является неплохим результатом для рассматриваемых данных.

Далее была проведена предобработка данных для классификации - были удалены классы с количество элементов меньше 10. После прореживания соотношение классов получилось следующим:

xp=[28,26,30,30,28,30,30,18,29,29,30,30,30,30,30,30,12,30,30,30,25,30].

Количество классов сократилось до 22, а общее количество элементов - до 615. Коэффициент вариации составил 16,13%. Мера усреднения разброса классов по количеству элементов в классе после прореживания получилась равной 1,82%. Заметим, что в результате была удалена примерно треть классов, в то время как общее количество элементов уменьшилось менее значительно. На рисунке 3 представлен результат обучений нейронной сети на полученных данных.

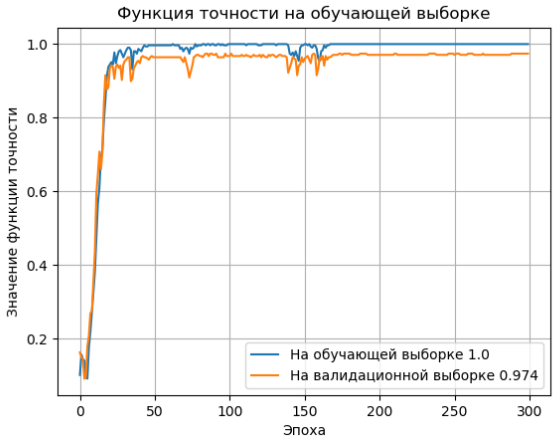


Рис. 3 - Значение функции точности на обучающей и валидационной выборке, при обучении на обработанных данных

Как видно из графиков, при исключении из выборки классов с малым количеством элементов точность повышается до 97.4 %. Это обусловлено тем, что нейронная сеть существенно ошибалась при проверке на этих классах, так как данных для обучения этим классам было недостаточно.

Благодаря использованию рекуррентной нейронной сети, построенной для классификации нормативно-справочной информации изделий используемых в промышленности удалось получить точность в 93.99% при обучении на наборе данных, содержащем классы с небольшим количеством элементов. При нормализации выборки, точность на выборке возросла на 3.41% и составила 97.4 %. Предложенная структура рекуррентной нейронной сети может быть использована также для классификации нормативно-справочной информации на других предприятиях.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарѐва" при финансовой поддержке Минобрнауки РФ 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. Keras: The Python Deep Learning library [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://keras.io/phrases-and-their-compositionality.pdf

2. *Недумов Я.Р., Трудаков Д.Ю., Майоров В.Д., Овчинников П.Е.* Автоматизация процесса нормализации информации при внедрении систем управления основными данными //Программирование. Москва. 2013. № 3. С. 3-14.

3. *Федюшкин Н.А., Федосин С.А.* О выборе методов векторизации текстовой информации //Научно-технический вестник Поволжья. Казань. 2019. № 6. С. 129-134.

4. *Немчинова Е.А., Плотникова Н.П., Федосин С.А.* Подготовка и обработка нормативно-справочной информации для классификации с помощью искусственных нейронных сетей //Нелинейный мир. Москва. 2019. № 2. С. 27-33.

5. *Тлеубаев А.Т., Ступников С.А.,* Применение методов машинного обучения для автоматизации тематической разметки интернет-доменов //Машинное обучение и анализ данных. Москва . 2018. № 4. С. 192-214.

05.13.18

А.Б. Цветков д-р техн. наук, Л.Д. Павлова д-р техн. наук

Сибирский государственный индустриальный университет,
Институт информационных технологий и автоматизированных систем,
кафедра прикладной математики и информатики,
Новокузнецк, atsvet@mail.ru, ld_pavlova@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Разработана математическая модель механизированной крепи, построенной в виде стержневой системы, и выполнена ее программная реализация в системе компьютерной математики.

Ключевые слова: *математическая модель, крепь, стержневая система, программа.*

При строительстве и эксплуатации горных предприятий необходимо проведение горных выработок и последующее обустройство свободного пространства. Для поддержания кровли пласта призабойной части очистного выработанного пространства широко используются механизированные крепи. Интенсификация горных работ приводит к необходимости выбора оптимальных режимов управления кровлей посредством регулирования давления в гидросистеме крепи [1-3].

Под влиянием техногенными воздействий на геомассив при отработке угольного пласта, действующих сейсмических и геотектонических сил, происходит перераспределение напряжений в окрестности горных выработок, что приводит к изменению нагрузок на крепь [4].

В этой связи разработка математической модели секции механизированной крепи для определения реакции гидростойки на действующую нагрузку от веса пород кровли при изменяющихся горно-геологических условиях является актуальной научной задачей, решение которой позволит выявлять предельные условия работы секций крепи, что обеспечит безопасность ведения горных работ [5, 6].

Методы исследования

В работе описана математическая модель секции механизированной крепи в виде стержневой системы. Отличие разработанной авторами модели от известных заключается в возможности задания граничных условий на верхнем перекрытии секций крепи, что позволяет учитывать ее реакцию на изменяющийся в результате техногенных воздействий вес зависающих пород кровли.

Прототип секции механизированной крепи для разработки расчетной схемы представлен на рисунке 1 [2]. Расчетная схема секции механизированной крепи приведена на рисунке 2.

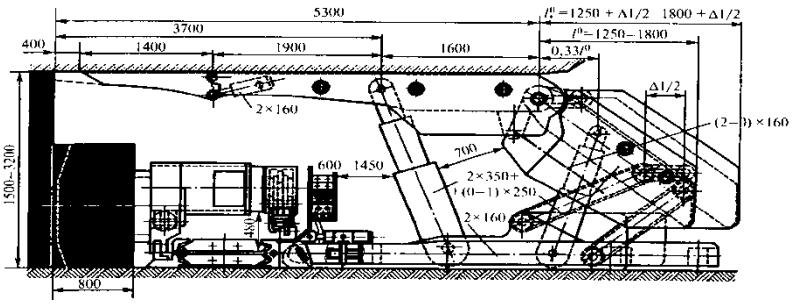


Рис. 1 – Прототип крепи для составления расчетной схемы [2]

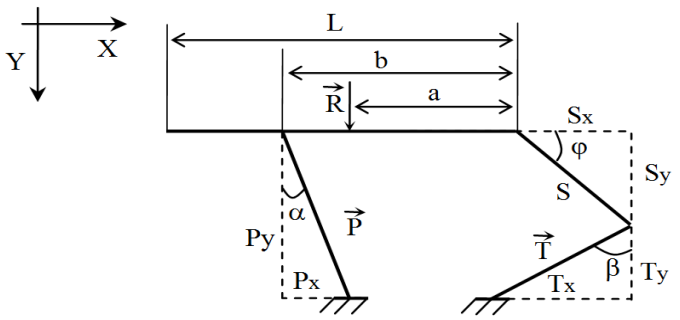


Рис. 2 – Расчетная схема секции механизированной крепи

В расчетной схеме, приведенной на рисунке 2, нагрузка на крепь определяется силой $\vec{R}$, формирующейся при воздействии пород кровли пласта на верхнее перекрытие секций крепи, длина которого равна L. Сила $\vec{P}$ характеризует реакцию гидростойки, где α – угол наклона гидростойки к вертикальной оси, a – расстояние между проекцией точки пересечения гидростойки с основанием секции крепи и задней границей перекрытия, b – длина верхнего перекрытия от гидростойки до защитного ограждения, S – длина защитного ограждения секции крепи. Угол φ отражает наклон защитного ограждения по отношению к перекрытию секции. Сила $\vec{T}$ – это реакция траверсы направляющего механизма секции механизированной крепи, β – угол наклона траверсы к вертикальной оси.

Разрешающая система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} -P_x + T_x = 0; \\ R - P_y - T_y = 0; \\ a \cdot R - b \cdot P_y + S_x \cdot T_y + S_y \cdot T_x = 0. \end{cases} \quad (1)$$

После определения проекций сил на координатные оси система (1) примет вид

$$\begin{cases} -P \cdot \sin(\alpha) + T \cdot \sin(\beta) = 0; \\ R - P \cdot \cos(\alpha) - T \cdot \cos(\beta) = 0; \\ a \cdot R - b \cdot P \cdot \cos(\alpha) + S \cdot \cos(\phi) \cdot T \cdot \cos(\beta) + S \cdot \sin(\phi) \cdot T \cdot \sin(\beta) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для определения реакции гидростойки на действующую нагрузку R используется нелинейная зависимость вида

$$f(R) = m R^2 + k R + d, \quad (3)$$

где коэффициенты m, k и d определяются заранее методом наименьших квадратов.

Программная реализация алгоритма решения задачи выполнена в системе компьютерной алгебры Mathematica. Для интерактивной визуализации работы секции крепи используется команда Manipulate, которая позволяет объединить операторы в группу и в реальном времени изменять заданные параметры математической модели автоматически или посредством визуальных элементов интерфейса программы (рисунок 3).

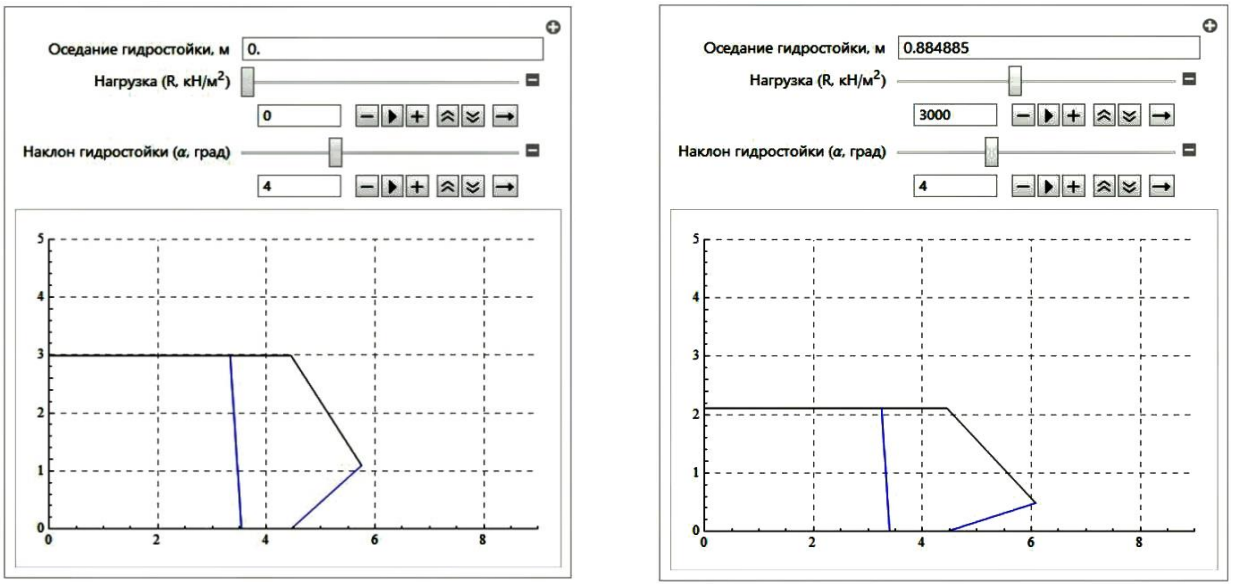
В исходном коде программы реакция гидростойки секции крепи на действующую нагрузку задается посредством аналитической функции (3), предназначенной для аппроксимации нелинейной зависимости. При необходимости в программе предусмотрена возможность изменения вида функции (3).

Результаты и их обсуждение

Результаты вычислительных экспериментов, выполненных с использованием разработанной программы, представлены на рисунке 3.

Из анализа результатов, приведенных на рисунке 3 а, следует, что при отсутствии давления кровли пласта на верхнее перекрытие секций крепи просадка гидростойки не наблюдается. Увеличение давления кровли пласта на верхнее перекрытие до 3000 кН приводит к просадке несущей гидростойки на 0.88 м (рисунок 3 б).

Следует отметить, что при значительной просадке гидростойки, превышающей ее предельную раздвижность, возможна потеря устойчивости секции механизированной крепи.



а) б)

Рис. 3 – Результаты вычислительных экспериментов:
а – нагрузка на секцию крепи отсутствует,
б – нагрузка на верхнее перекрытие секции крепи 3000 кН/м^2

Практическое значение разработанной математической модели и программы состоит в возможности настройки регулирующего клапана в гидросистеме механизированной крепи по результатам прогноза предельных значений ее несущей способности при изменении действующей на крепь нагрузки подработанных пород кровли.

Выводы

Предложена математическая модель, предназначенная для определения нагрузок на секцию крепи при решении нестационарных задач геомеханики.

Для проведения вычислительных экспериментов разработан программный модуль, который позволяет осуществлять интерактивный прогноз параметров механизированной крепи при изменении веса пород кровли и длины консоли их зависания над выработанным пространством.

Список литературы

1. *Баклашов, И.В.* Механика подземных сооружений и конструкции крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. – 543 с.

2. *Коровкин, Ю.А.* Теория и практика длиннолавных систем / Ю.А. Коровкин, П.Ф. Савченко. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.

3. *Мышляев, Б.К.* О роботе очистных комплексов «Джой» на шахтах КУЗБАССА / Б.К. Мышляев // Уголь. – 2003. – №6. – С. 59-63.

4. *Клишин, В.И.* Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения / В.И. Клишин. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 2002. – 200 с.

5. *Павлова, Л.Д.* Методика расчета нагрузок на механизированную крепь по длине забоя / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов, Е.С. Корнев // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: Труды Междунар. конф., Новосибирск, 28 июня-2 июля 2010 г. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010. – С. 81-87

6. *Гордеев, С.Н.* Закономерности взаимодействия неустойчивых пород кровли и механизированной крепи в очистном забое угольной шахты / С.Н. Гордеев, Л.П. Мышляев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей по материалам Междунар. научно-практ. конф., Новокузнецк, 3-6 июня 2014 г. – Новокузнецк, 2014. – С. 83-90.

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

05.13.19

А.А. Шашков, В.А. Минаев д-р техн. наук

АО «Системы управления»,
МГТУ имени Н.Э.Баумана,
Москва, smich-kr@mail.ru mlva@yandex.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТИ ВЫХОДНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЛИНЕЙНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ РЕГИСТРОВ СДВИГА

В работе рассматриваются основные свойства и методы обеспечения стойкости к раскрытию выходных последовательностей ЛРРС, позволяющих при проектировании систем связи с шумоподобными сигналами формировать заданную разведзащищенность ПСП.

Ключевые слова: *псевдослучайная последовательность, разведзащищенность, линейный рекуррентный регистр сдвига, эквивалентная сложность, примитивный элемент поля, примитивный и неприводимый многочлен.*

Стойкость к раскрытию выходных последовательностей ЛРРС обеспечивается высокой разведзащищенностью, под которой здесь понимается невозможность однозначного предсказания образующего полинома, обратных связей и начального заполнения ЛРРС [1,2]. Известно, что выходные последовательности ЛРРС обладают весьма низкой разведзащищенностью из-за линейности их формирования [2-4]. Для раскрытия выходных последовательностей достаточно перехватить отрезок, равной утроенной длине ЛРРС, чтобы вычислить образующий полином с обратными связями [4]. Поэтому для повышения разведзащищенности ПСП необходимо разрушить линейность их формирования за счет использования нелинейных преобразований. Нелинейное преобразование выходной последовательности ЛРРС разрушает линейную закономерность формирования ПСП, увеличивает период исходной последовательности, за счет увеличения длины, так называемого виртуального ЛРРС, который может сформировать такую же последовательность. Назовем длину виртуального ЛРРС **эквивалентной сложностью ПСП.**

Например, эквивалентная сложность обычного ЛРРС будет просто равна его длине и следовательно, он будет обладать низкой разведзащищенностью [4]. Если же эквивалентную длину ПСП увеличить до размеров, превышающих длительность сеанса связи, то для злоумышленника исключается возможность перехвата в течение одного сеанса отрезка ПСП равной утроенной длине виртуального регистра и, следовательно, разведзащищенность такой ПСП будет высокой. Дадим строгое определения понятию эквивалентной сложности двоичной последовательности.

Пусть задана произвольная двоичная последовательность $b=b0,b1,\ldots,bN1$, вырабатываемая некоторым устройством (конечным автоматом). Тогда под *эквивалентной сложностью* заданной двоичной последовательности $R(\boldsymbol{b})$ будем понимать минимальную длину R линейного рекуррентного регистра, который может, при некотором исходном заполнении формировать на выходе именно эту последовательность, т.е. $R(\boldsymbol{b})=R$. Для произвольной двоичной последовательности всегда можно вычислить длину виртуального ЛРРС, который на выходе будет формировать в точности заданную последовательность.

За счет линейности закона формирования выходной последовательности, по принятой последовательности b=*b0,b1,…,bN*1 можно построить систему линейных уравнений для нахождения порождающего полинома, на базе которого построен исходный ЛРРС. Поэтому при проектировании систем связи с шумоподобными сигналами увеличение периода ПСП является только необходимым условием, которое достаточно просто обеспечивается, как известно [4], выбором порождающего полинома степени n≥50-60. В качестве достаточного условия будет выступать большая эквивалентная сложность ПСП, которая должна превышать длительность сеанса связи. Поэтому рассмотрим методы повышения эквивалентной сложности ПСП за счет использования нелинейных узлов усложнения (логических элементов И, ИЛИ, НЕ и др).

Выходные последовательности ЛРРС при различном исходном заполнении образуют поле [5], где сложение определяется как по членное сложение по mod2, а умножение как обычное умножение многочленов. То есть выходную последовательность ЛРРС можно задать примитивным элементом поля. Пусть *h(x)* многочлен степени *n* с характеристическим уравнением [5]:

$$h(x) = 0. \tag{1}$$

Если *h(x)* неприводим и примитивен, то все корни этого уравнения лежат в конечном поле $GF(2^n)$.

Если α- какой либо корень уравнения (1) из $GF(2^n)$, то легко можно найти все остальные корни. Они имеют следующий вид [5]:

α^{2^k}, k=0,1,2,…,*n*-1.

Заметим, что в каждом конечном поле есть так называемый примитивный элемент α. Все элементы поля являются некоторой степенью примитивного элемента [5]. Если многочлен $h(x)$ примитивен, то все его корни являются примитивными элементами поля. Для любого элемента α конечного поля $GF(2^n)$, $\alpha^{2^n-1} = 1$. Для примитивных элементов $\alpha^{n'} \neq 1$, $n' < 2^n - 1$.

Элемент α можно найти, если задать конечное поле по модулю самого многочлена $h(x)$. Тогда многочлен *x* степени 1 и будет корнем уравнения (1). Особенно важным свойством поля является представление выходной последовательности *bi* через корень α полинома $h(x)$ [5]:

$$b_i = \sum_{k=0}^{n-1} A_k \left(\alpha^{2^{[k]}} \right)^i \tag{2}$$

где: i =0,1,2,…,*n*-1

Ak, k=0,1,…,*n*-1 определяется по начальному состоянию регистра.

Для этого составим систему уравнений:

$$a_i = \sum_{k=0}^{n-1} A_k \left(\alpha^{2^{(k)}} \right)^i \tag{3}$$

где: i=0,1,…,*n*-1

*a*0, *a*1, *a*2,…,*an*-1 известные исходные состояния.

Из линейной системы уравнений (3) находим постоянные *Ak*,

k=0,1,…,*n*-1, $A_k \in GF(2)$, то есть *Ak*=(0,1).

Пусть *a*k последовательность, выходящая из какого либо разряда ЛРРС, а a^*-последовательность с какого либо другого разряда. Тогда:

$$a_k = \sum_{i=0}^{n-1} A_i \left(\alpha^{2^i} \right)^k, \; i=0,1,\ldots$$

$$a_k^* = \sum_{j=0}^{n-1} A_j^* \left(\alpha^{2^j}\right)^k, j = 0,1,\ldots$$

или

$$a_k \cdot a_k^* = \sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{n-1} A_i \cdot A_j^* \left(\alpha^{2^i+2^j}\right)^n. \quad (4)$$

Показатель степени $2^i + 2^j$ можно рассматривать как двоичную запись целого числа μ. Так как $\alpha^{2^n-1} = 1$, то μ равные по модулю $2^2 - 1$ дают одни и те же элементы.

Если *i=j*, то двоичное представление числа μ равно $2^i + 2^i = 2 \cdot 2^i = 2^{(i+1)}$ и содержит только одну единицу. Поэтому количество таких чисел отличных по mod (22-1) будет равно *n*. Пусть теперь $i \neq j$, тогда μ имеет два ненулевых бита и имеется $n(n-1)/2$ таких чисел отличных от нуля по mod (2n-1).

Поэтому всего в сумме будет $n + n(n-1)/2 = n(n+1)/2$ различных степеней α, которые присутствуют в сумме (4). Если коэффициент при этих степенях не исчезает, то в сумме сохранятся 2(2+1)/2 степеней.

Рассмотрим ЛРРС, построенный на произвольном полиноме $h(x) = 1 + x + x^3$, содержащий три ячейки (*n*=3) памяти и один узел перемножения, как показано на рис.1.

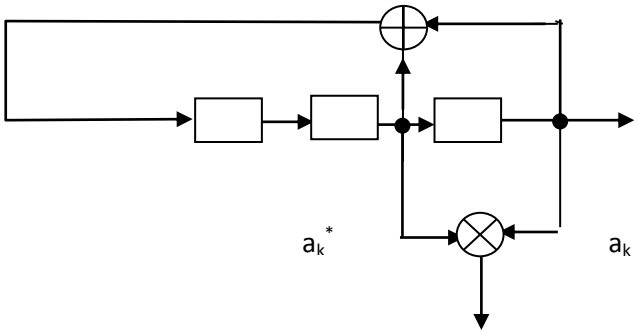


Рис.1. Схема усложнения выходной последовательности рекуррентного регистра при помощи операции умножения

То есть состояния ячеек памяти регистра можно представить через примитивные элементы поля следующим образом:

$$a_i = \alpha^i + \alpha^{2i} + \left(\alpha^2 + \alpha\right)^i$$

$$a_{i+1} = \alpha^{i+1} + \alpha^{2(i+1)} + \left(\alpha^2 + \alpha\right)^{i+1}$$

$$a_i \cdot a_{i+1} = \left[\alpha^i + \alpha^{2i} + \left(\alpha^2 + \alpha\right)^i\right] \cdot \left[\alpha^{i+1} + \alpha^{2(i+1)} + \left(\alpha^2 + \alpha\right)^{i+1}\right] =$$

$$= \alpha^{2(i+1)} + \alpha^{3i+2} + \left[\left(\alpha^2 + \alpha\right)\alpha\right]^i \left(\alpha^2 + \alpha\right) + \ldots =$$

$$= \left(\alpha^2 + \alpha\right)\alpha^i + \alpha\alpha^{2i} + \alpha^2\left(\alpha^2 + \alpha\right)^i + \left(\alpha^2 + \alpha\right)\alpha^{3i} + \alpha\left(\alpha^2 + 1\right)^i +$$

$$+ \alpha^2\left(\alpha^2 + \alpha + 1\right)^i$$

Видно, что помимо корней α ,α2 , α4 , появились новые корни :α3, α6, α5 .

То есть эквивалентный полином будет иметь вид:

$$h(x) = h_1(x) \cdot h_2(x),$$

где $h_1(x) = 1 + x + x^3$,

$$h_2(x) = \left(x + \alpha^3\right)\left(x + \alpha^6\right)\left(x + \alpha^5\right) = \left(x^2 + \alpha^6 x + \alpha^3 x + \alpha^9\right) \cdot$$
$$\cdot \left(x + \alpha^5\right) = x^3 + \alpha^6 x^2 + \alpha^3 x^2 + \alpha^9 x + \alpha^5 x^2 + \alpha^{11} x + \alpha^8 x + \alpha^{14} =$$
$$= x^3 + x^2\left(\alpha^6 + \alpha^3 + \alpha^5\right) + x\left(\alpha^9 + \alpha^{11} + \alpha^8\right) + 1 =$$
$$= x^3 + x^2\left(\alpha^2 + 1 + \alpha + 1 + \alpha^2 + \alpha + 1\right) + \left(\alpha^2 + \alpha^2 + \alpha + \alpha\right)x + 1 =$$
$$= x^3 + x^2 + 1.$$

Окончательно имеем:

$$h(x) = h_1(x) \cdot h_2(x) = \left(x^3 + x + 1\right) \cdot \left(x^3 + x + 1\right) =$$
$$= x^6 + x^5 + x^3 + x^4 + x^3 + x + x^3 + x^2 + 1 =$$
$$= x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1.$$

Тогда эквивалентный ЛРРС принимает вид, изображенный на рис. 2. Или тот же самый ЛРРС можно изобразить в более компактном виде, как показано на рис.3.

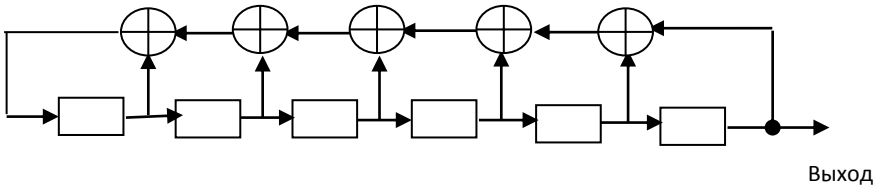


Рис. 2. Эквивалентный регистр для усложненной

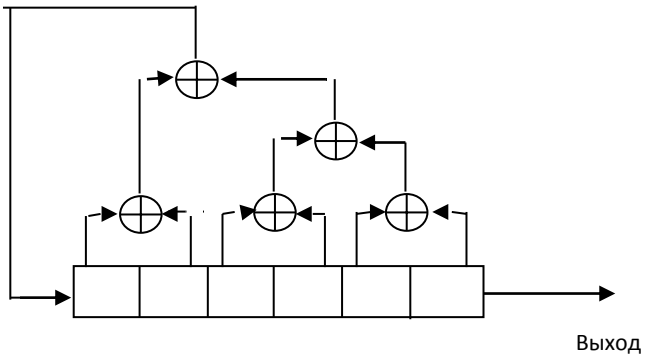


Рис. 3. Модифицированная схема эквивалентного регистра для усложненной последовательности

Заметим, что период выходной последовательности здесь сохранился прежним, то есть он равен 23-1=7. Начальное заполнение можно найти, заполнив новый ЛРРС выходной последовательностью первого генератора.

Можно и далее усложнять схему выполняя многократное перемножение от элементов одного и того же регистра, то есть построить регистр с нелинейностью *m*-го порядка, и произведя аналогичные расчеты можно обнаружить новые корни и в конечном итоге построить эквивалентный ЛРРС, выходная последовательность которого будет обладать большой эквивалентной сложностью.

Таким образом, применение нелинейного преобразования привело к увеличению эквивалентной сложности выходной последовательности ЛРРС, тем самым существенно повысив разведзащищенность. Применяя нелинейность *m*-го порядка, можно всегда обеспечить заданную разведзащищенность при проектировании системы связи с шумоподобными сигналами [6].

Список литературы

1. *Шеннон К.* Теория связи в секретных системах \ В кн.: Работы по теории информации и кибернетике. - М.: ИЛ, 1963.
2. *Диффи У.* Защищенность и имитостойкость: введение в криптографию \ У.Диффи, М. Хеллман \\ ТИИЭР. – 1979. – Т.67. - №3. – С. 71-109.
3. *Хоффман Л.Дж.* Современные методы защиты информации \ Пер с англ. М.: - Сов. Радио 1980.
4. *Коржик В.И., Яковлев В.А.* Основы криптографии: учебное пособие / В.И.Коржик, В.А.Яковлев. – СПб., ИЦ Интермедия, 2016. – 312 с.: илл.
5. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей : учебник / Е.С.Вентцель. — 11-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2010.— 664 с
6. Информационные технологии в радиотехнических системах: Учебное пособие \ В.А.Васин, И.Б.Власов, Ю.М.Егоров и др.; Под ред. Федорова.- М.: Изд. МГТУ им. Н.Е.Баумана, 2004. – 768 с.

05.13.19

А.А. Шашков, В.А. Минаев д-р техн. наук

АО «Системы управления»,
МГТУ имени Н.Э.Баумана,
Москва, smich-kr@mail.ru mlva@yandex.ru

МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ БЕЗ ПРЕВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОДАВЛЯЕМОГО СИГНАЛА

В работе рассмотрены эффективные методы подавления систем связи с шумоподобными сигналами без повышения мощности подавляемого сигнала при использовании одинаковых псевдослучайных последовательностей (ПСП) в различных сеансах связи.

Ключевые слова: *псевдослучайная манипуляция, перехват сигнала, преднамеренные помехи, перекрытие псевдослучайных последовательностей.*

Сущность способа заключается в том, что при повторном использовании одинаковых отрезков ПСП для передачи различных сообщений, имеется возможность запомнив первое ("старое") сообщение, сфазировать его по ПС-манипуляции с очередным ("новым") сообщением и использовать в качестве помехи для подавления передачи "нового" сообщения. При этом критерием совмещения ПС-гамм может служить появление длинных, регулярных серий из одинаковых символов при сложении по модулю два [1] последовательностей "старого" и "нового" сообщений.

Ввиду того, что помеха будет манипулирована синфазной и такой же, как и в подавляемой линии связи ПСП [2,3], она будет восприниматься подавляемой стороной за истинный сигнал, с нее будет снята ПС-манипуляция и произведена свертка ложного сигнала. Это приведет к уменьшению потребного коэффициента подавления, скрытности воздействия помехи и вводу ложной информации [3].

Необходимо отметить, что в процессе перехвата и демодуляции мы получим двоичные видеосигналы, представляющие из себя результат перемножения псевдослучайных и информационных видеосигналов. Известно, что операция умножения двух видеосигналов эквивалентна операции сложения по модулю два (mod2) соответствующих им двоичных последовательностей [1,3]. Указанное однозначное соответствие между последовательностью и двоичным видеосигналом, который её отображает показано на рис 1.

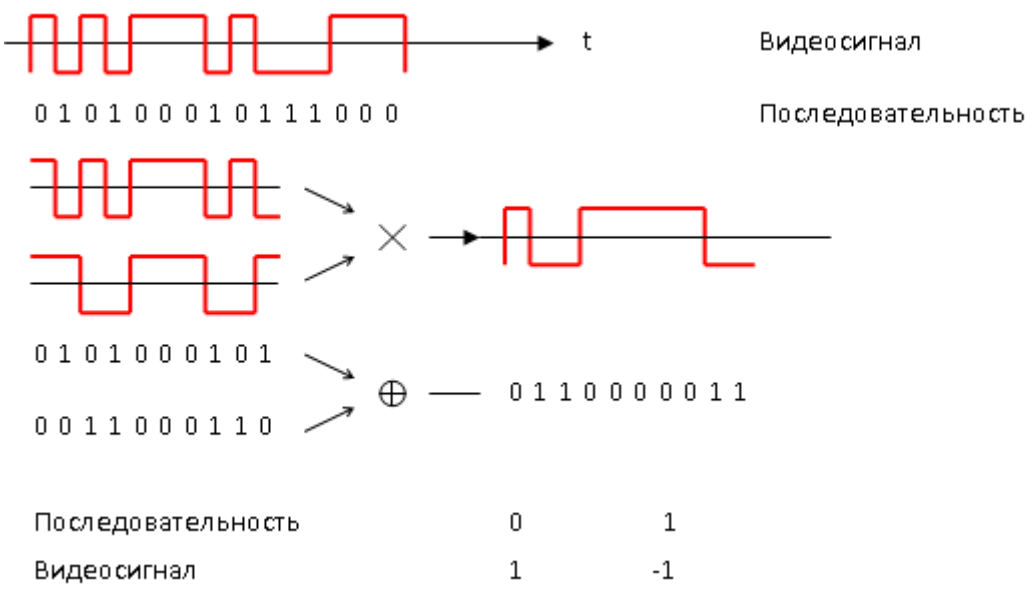


Рис.1. Длительность пачки из нулей и единиц

Учитывая это, для последовательностей после демодулятора будут справедливы следующие соотношения:

$$Si = \gamma i \oplus Ai ;$$
$$Wi+x = \gamma i+x \oplus \overline{A}\, i+x , \qquad (1)$$

где: i-обозначает начало передачи первого сообщения;
x-обозначает сдвиг одного сеанса передачи относительно другого;
Si-первичная последовательность, то есть принятая при втором сеансе перехвата;
Wi+x-вторичная последовательность,
γk -псевдослучайная последовательность;
A -информационная последовательность первого сообщения;
$\overline{A}$ -информационная последовательность второго сообщения;
⊕ -сложение по модулю два.

Из уравнений (1) видно, что если первичную последовательность Si передавать второму корреспонденту со сдвигом во времени равным x, то за счет использования одинаковых манипулирующих ПСП, с указанного сообщения будет снята ПС-манипуляция и оно воспримется вторым корреспондентом за истинное и тем самым будет скрыт факт воздействия помехи и второму корреспонденту будет введена ложная информация *A*, вместо $\overline{A}$.

Следовательно, для создания такой прицельной помехи необходимо:
1. Определить факт перекрытия ПСП (повторения ПСП).
2. Устранить сдвиг между фазами манипулирующих ПСП.
3. Первым сеансом связи подавить второй сеанс.

Перекрытие ПСП можно определить по расширению длительности видеоимпульса результирующей последовательности Ei, полученной в результате сложения по mod2 исходных последовательностей Si и Wx+i . То есть можем записать:

$$\text{при } x = 0 \quad Ej + Sj \oplus Wj = \gamma j \oplus Aj \oplus \gamma j \oplus \overline{A}\, j = Aj \oplus \overline{A}\, j ; \qquad (2)$$
$$\text{при } x \neq 0 \quad Ei + Si \oplus Wi+x = \gamma i \oplus Ai \oplus \gamma i+x \oplus \overline{A}\, i+x = \gamma\xi \oplus Ai \oplus \overline{A}\, i+x , \qquad (3)$$

где $\gamma\xi = \gamma i \oplus \gamma i+x$ соответствует отрезку ПСП с каким-то другим сдвигом относительно исходной ПСП.

Из (2) видно, что за счет снятия ПС-манипуляций в последовательности Ej следует ожидать появления регулярных серий с длительностью не менее половины базы информационных элементов, то есть:

$$\tau Ej \geq 1/2B. \quad (4)$$

А длительность серии в Ei, как видно из (3) будет случайной и, как правило, не будет превосходить длительности максимальной серии ПСП γξ, которая, как известно, может иметь длину не больше числа элементов памяти (К) в формирующем регистре, то есть:

$$\tau Ei \leq K. \quad (5)$$

Известно, что в системах связи с ПС-сигналами выбирают:

$$B >> K, \quad (6)$$

тогда: 1/2B >K и подставляя (5) и (6) в (4) получаем:

$$\tau Ej > \tau Ei. \quad (7)$$

Для надежности принятия решения, факт перекрытия ПСП необходимо фиксировать тогда, когда число расширенных серий превысит фиксированный порог η. Для гарантированного определения факта перекрытия ПСП и сформирования команды на подавление второго сеанса связи первым, достаточно η выбрать равным трем [3].

Отметим, что процесс перехвата при создании таких помех может характеризоваться тремя различными ситуациями, показанными на рис. 2.

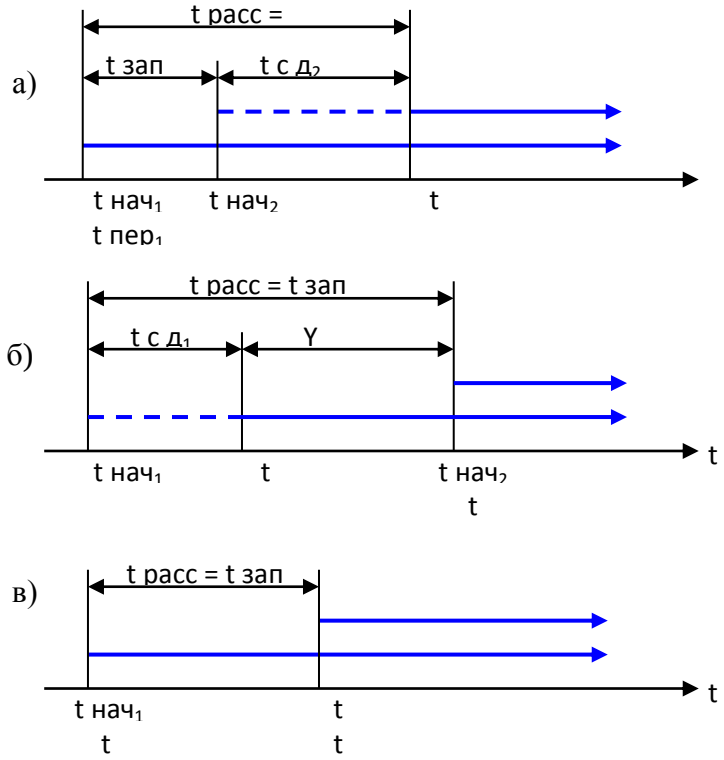


Рис.2. Варианты перехвата повторенной ПСП

Первый вариант заключается в том, что перехват первичного сообщения осуществляется сразу же с начала сеанса связи, а вторичного сообщения - с каким-то сдвигом (х) во времени после начала второго сеанса связи, см. рис.4а.

Следовательно, если в сеансах использовались одинаковые ПСП, то они будут сдвинуты друг относительно друга на время рассогласования:

$$t_{расс} = t_{пер2} - t_{пер1} = t_{зап} + t_{сд2} = X, \quad (8)$$

где: tпер2 и tпер1 -соответственно начало перехвата вторичного и первичного сообщения, см.рис.4а;

tзап -время запаздывания одного сеанса связи относительно другого;

tсд2 -сдвиг момента перехвата второго сообщения относительно начала второго сеанса связи.

Если начало перехватов сообщений примем за точку отсчета, то при совмещении указанных отсчетов, повторная ПСП будет опережать первичную на время tрасс= X, см.рис. 4(а).

Вторая ситуация, см.рис.4б заключается в том, что перехват первичного сообщения осуществляется со сдвигом tсд1 относительно начала первичного сеанса связи, а вторичное сообщение перехватывается сразу же с начала второго сеанса связи. Тогда при использовании одинаковых ПСП они будут рассогласованы друг относительно друга во времени на:

$$t_{расс} = t_{зап} = t_{сд1}+t_{пер2} – t_{пер1}= t_{сд1}+Y; \quad (9)$$

где Y – обозначает сдвиг моментов перехвата друг относительно друга;

остальные обозначения совпадают с (8).

Следовательно, при совмещении точек отсчетов первичная ПСП будет опережать повторную на время $t_{расс}= Y$, см. рис. 4б.

И, наконец, третья ситуация состоит в том, что оба сообщения перехвачены сразу же с начала сеанса. Тогда при использовании одинаковых ПСП в сеансах, рассогласование между ними будет определяться лишь запаздыванием вторичного сеанса связи относительно первичного см. рис. 4в, то есть:

$$t_{расс} = t_{зап} = t_{нач2} – t_{нач1} = t_{пер2} – t_{пер1}, \quad (10)$$

где: $t_{нач2}$ и $t_{нач1}$ – обозначают соответственно время начала вторичного и первичного сеансов связи.

Следовательно, при совмещении точек отсчетов, первичная и повторная ПСП совпадут с точностью до фазы, то есть $t_{расс} = 0$, см. рис.4в.

Все остальные возможные комбинации вариантов перехвата будут вписываться в рассмотренные три варианта.

Если в предлагаемом устройстве обработки поступающей информации вести анализ одновременно, применительно к трем указанным ситуациям, то время постановки помех существенно сократится.

Таким образом, следует отметить, что в системах связи с шумоподобными сигналами [4,5] повторение ПСП в сеансах связи может привести к подавлению связи или навязыванию ложной информации. Поэтому здесь, также как и в системах засекреченной связи [3], необходимо исключить повторное использование ПСП в сеансах связи, а каждый сеанс связи начинать на новых ключевых данных.

Список литературы

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей : учебник / Е.С.Вентцель. — 11-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2010.— 664 с.

2. *Хоффман Л.Дж.* Современные методы защиты информации \ Пер с англ. М.: - Сов. Радио 1980.

3. *Коржик В.И., Яковлев В.А.* Основы криптографии: учебное пособие / В.И.Коржик, В.А.Яковлев. – СПб., ИЦ Интермедия, 2016. – 312с.

4. *Малыгин И.* Широкополосные системы связи. М: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 200 с.

5. *Дорнан Энди.* Широкополосная связь из космоса. // Журнал сетевых решений/LAN. – 2002. – № 02 – С. 14-25. URL: https://www.osp.ru/lan (дата обращения 31.08.2019).

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

Г.Ф. Ахмедьянова
АДАПТАЦИЯ CAD - СИСТЕМЫ К РЕШЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Ключевые слова: адаптация, CAD – система, интеллектуализация, системный подход, статистический анализ, кинематическое мышление.

В работе рассмотрен системный подход к адаптации CAD – систем, который требует исследования двунаправленных изменений, как со стороны требований инженеров к наличию необходимого арсенала автоматизирующих его труд функций, так и встречного движения, со стороны системы, в отношении адаптации ее к конкретному пользователю на основе повышения ее интеллектуальности. Для реализации этой возможности в модель интерфейса CAD – систем включаются подсистемы распознавания возможностей пользователя, статистического анализа частоты использования инструментов и подсистема рекомендаций.

G.F. Akhmedyanova
ADAPTATION OF CAD-SYSTEM TO THE SOLUTION TECHNICAL INVENTIVE TASKS

Keywords: adaptation, CAD - system, intellectualization, systematic approach, statistical analysis, kinematic thinking.

The paper discusses a systematic approach to adapting CAD-systems, which requires the study of bi-directional changes, both from the requirements of engineers to the availability of the necessary arsenal of functions that automate its work, and from the direction of the system, in terms of adapting it to a specific user based on increasing her intelligence. To implement this feature, the CAD-system interface model includes subsystems for recognizing user capabilities, statistical analysis of the tools use frequency, and a subsystem for recommendations.

И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев
АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ключевые слова: управление жизненным циклом изделия, клиентские приложения, взаимодействие приложений в системах управления жизненным циклом изделия, облачные информационные системы.

В статье проведен анализ различных видов клиентских приложений для информационных систем управления жизненным циклом изделия и способов их взаимодействия с пользователем и источниками данных. Описаны типовые функции клиентских приложений и основные операции пользователей. Проанализированы различные варианты использования клиентских приложений при решении различных задач управления жизненным циклом изделия. Предложено развитие информационных систем управления жизненным циклом изделия с использованием облачных технологий.

I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev
PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM APPLICATIONS ANALYSIS FOR THE CLOUD TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION

Keywords: product lifecycle management, client applications, application interaction in product lifecycle management systems, cloud information systems.

The article analyzes various types of product lifecycle management information systems client applications the and how they interact with the user and data sources. Typical features of client applications and basic user operations are described. Various options for using client applications to solve various problems of product lifecycle management are analyzed. The development of product lifecycle management information systems using cloud technologies is proposed.

И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев
ОБЩИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ

Ключевые слова: управление жизненным циклом изделия, взаимодействие систем управления жизненным циклом изделия, унификация систем управления жизненным циклом изделия, интеграция по данным.

В статье проведен анализ возможностей интеграции информационных систем управления жизненным циклом изделий. Описано взаимодействие таких систем и виды использования данных. Показано, что при взаимодействии таких систем данные различных этапов жизненного цикла часто передаются в различных неунифицированных форматах и требуют использования разных систем. Предложен общий подход к оценке трудоемкости интеграции используемых предприятиями-смежниками систем управления жизненным циклом изделий и продемонстрированы преимущества раннего начала интеграции.

I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev
GENERAL APPROACH TO THE PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS INTEGRATION POSSIBILITIES ANALYSIS

Keywords: product lifecycle management, interaction of product lifecycle management systems, unification of product lifecycle management systems, data integration.

The article analyzes the possibilities of product life cycle management information systems integration. The interaction of such systems and the uses of data are described. It is shown that during the interaction of such systems, data from various stages of the life cycle are often transmitted in various ununified formats and require the use of different systems. A general approach to assessing the complexity of integration of product life cycle management systems used by related enterprises is proposed and the advantages of the early start of integration are demonstrated.

В.В. Ершов
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛУЧЕВОЙ МИКРОФОННОЙ АНТЕННЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАСТРОЙКИ ЕЁ КОНФИГУРАЦИИ

Ключевые слова: лучевая микрофонная антенна, beamforming, локализация источников звука, оптимизация.

В статье описана разработка оптимизированной конструкции микрофонной антенны для измерения источников шума и проведение сравнительных испытаний созданной антенны и антенны подобного класса от

V.V. Ershov
DESIGNING THE CONSTRUCTION OF THE BEAM MICROPHONE ARRAY WITH THE QUICK RECONFIGURATION POSSIBILITY

Keywords: beam microphone array, beamforming, sound source localization, optimization.

This paper describes the designing of an optimized construction of a microphone array for the measuring of noise sources and conducting comparative tests of the created array and an array of a similar class from the manufacturer Bruel & Kjaer

производителя Bruel & Kjaer (Дания). Спроектирована конструкция лучевой антенны, позволяющая изменять количество микрофонов и их положение по угловой и радиальной координате. Описано проведение испытаний по измерению шума стационарных источников и шума турбулентной струи и представлены результаты обработки полученных данных.

(Denmark). Designed construction of the beam array allows the changing the number of microphones and their position on the angular and radial coordinates. The tests for measuring of the stationary noise sources and the noise of a turbulent jet are described and the results of processing the obtained data are presented.

П.С. Кулясов

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ КОМПОНЕНТНОЙ СБОРКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: ОПВО, компонентная сборка, семантическая модель.

В работе представлена семантическая модель адаптивных образовательных программ высшего образования (ОПВО), а также алгоритм сборки ОПВО, на основе ее компонентного представления и концептуальных каркасов онтологий. Приведен фрагмент онтологической модели, формализующий взаимодействие компонентов дисциплин, практик и аудиторий. Описанные правила логического вывода позволяют алгоритмизировать процесс синтеза многокомпонентных структур ОПВО.

P.S. Kulyasov

GENERALIZED ALGORITHM FOR THE COMPONENT ASSEMBLY OF HIGHER EDUCATION EDUCATIONAL PROGRAMS

Keywords: HEEP, component assembly, semantic model.

The paper presents a semantic model of adaptive higher education educational programs (HEEP), as well as the assembly algorithm of HEEP based on its component representation and ontology conceptual frameworks. A fragment of the ontological model is given, formalizing the interaction of the components of disciplines, practices and audiences. The described inference rules allow one to algorithmize the synthesis process of multicomponent structures of higher education educational programs.

А.О. Махорин

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ КОНФИГУРИРОВАНИЯ СЕТИ

Ключевые слова: задача конфигурирования сети, целочисленное линейное программирование, эквивалентное преобразование задачи, алгоритм неявного перебора.

Задача определения оптимальной конфигурации (многопродуктовой) сети возникает во многих практических приложениях, в частности, при проектировании многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей [1, 2]. В данной статье рассматривается формализация этой задачи в терминах целочисленного линейного программирования. Показано, каким образом можно получить улучшенную эквивалентную формулировку, которая позволяет обеспечить более эффективное решение этой задачи с помощью алгоритмов неявного перебора.

A.O. Makhorin

FORMALIZATION OF THE NETWORK CONFIGURING PROBLEM

Keywords: network configuring problem, linear integer programming, problem reformulation, implicit enumeration algorithm.

The network configuring problem naturally appears in many applications, in particular, on designing multi-gateaway wireless self-organizing network systems [1, 2]. In this article is proposed a formulation of this problem in terms of the integer linear programming. It is shown how a better formulation mought be obtained to provide a more efficient solution of the problem with implicit enumeration algorithms.

К.М. Носков

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ключевые слова: Классификация, неформализуемая задача, нейронная сеть, многомерный объект, радиально-базисные функции.

В работе представлены результаты исследования возможности применения нейросетевых технологий для решения неформализуемых задач. Целью работы является разработка алгоритма построения классификатора многомерных объектов в условиях сложной помеховой обстановке. Рассмотрен частный случай многомерного объекта. Выполнена программная реализация.

K.M. Noskov

THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A CLASSIFIER OF MULTIDIMENSIONAL OBJECTS BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

Keywords: classification, unformalized problem, neural network, multidimensional object, radial basis functions.

The paper presents the results of a study of the possibility of using neural network technologies to solve unformalizable problems. The aim of the work is to develop an algorithm for constructing a classifier of multidimensional objects in a complex noise environment. A special case of a multidimensional object is considered. Software implementation completed.

О.П. Пусная, Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, В.В. Ломакин,

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

Ключевые слова: архитектура, платформа, информационная система, поддержка, программное обеспечение, вероятностный подход.

В статье рассмотрены основные направления развития архитектуры и технико-технологических характеристик платформ и разрабатываемых бизнес-систем. На основе проведенного анализа перспектив развития программного обеспечения сформулированы рекомендации по развитию интегрированного комплекса средств высокоуровневой разработки и среды функционирования информационных систем корпоративного уровня для обеспечения его конкурентоспособности.

O.P. Pusnaya, N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, V.V. Lomakin

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE PLATFORM ON THE BASIS OF A PROBABILISTIC APPROACH

Keywords: architecture, platform, information system, support, software, probabilistic approach.

The article discusses the main directions of development of architecture and technical and technological characteristics of platforms and being developed business systems. On the basis of the analysis of the prospects for software development, recommendations on the development of an integrated complex of tools for high-level development and the functioning environment of corporate-level information systems to ensure its competitiveness are formulated.

Н.П. Путивцева, В.В. Ломакин, Т.В. Зайцева, О.П. Пусная
К ВОПРОСУ О СПЕЦИФИКЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЛАТФОРМАХ РАЗРАБОТКИ КИС

Ключевые слова: платформа, механизм управления, бизнес-процессы, корпоративные информационные систем.

В данной статье рассматриваются наиболее популярные отечественные инструментальные средства управления бизнес-процессами. Приведены примеры реализации механизмов управления бизнес-процессами в рассмотренных платформах.

N.P. Putivzeva, V.V. Lomakin, T.V. Zaitseva, O.P. Pusnaya
TO THE QUESTION ON THE SPECIFICITY OF IMPLEMENTATION OF MECHANISMS FOR MANAGING BUSINESS PROCESSES IN DOMESTIC PLATFORMS FOR CIS DEVELOPMENT

Keywords: platform, management mechanism, business processes, corporate information systems.

This article describes the most popular domestic tools for business processes management. Examples of the implementation of mechanisms for business processes management in the considered platforms are given.

А.М. Станкевич
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ РАБОТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Ключевые слова: планирование технического обслуживания, авиационная техника, резерв времени на выполнение работ, пакет работ, модель линейного программирования.

В работе представлена формализация задачи оптимального формирования пакетов работ на техническое обслуживание (ТО) воздушных судов (ВС) в рамках планового события ТО. Также представлена базовая модель, относящаяся к классу моделей линейного программирования, на основе которой возможно решение указанной задачи.

A.M. Stankevich
FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF OPTIMAL WORK PACKAGES FORMATION FOR AIRCRAFT MAINTENANCE

Keywords: maintenance planning, aviation, work time reserve, work package, linear programming model.

The paper presents the formalization of the problem of optimal work packages formation for aircraft maintenance as part of a planned maintenance event. A basic model belonging to linear programming models, on the basis of which it is possible to solve this problem, also presented.

К.Г. Горгоц, О.В. Горгоц
БЕСШАТУННЫЙ ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; кривошипно – шатунный механизм, поршень.

В работе представлены результаты разработки конструкции бесшатуного поршневого двигателя внутреннего сгорания. Предложенная конструкция позволяет снизить внутренние механические потери в цилиндро-поршневой группе двигателя, тем самым повысить долговечность его работы и создаёт предпосылки для форсирования путём повышения скорости перемещения поршней внутри цилиндров и увеличения частоты вращения выходного вала.

K.G. Gorgots, O.W. Gorgots
PISTON-FREE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Keywords: internal combustion engine; crank mechanism, piston.

The paper presents the results of the development of the design of a piston-free internal combustion engine. The proposed design reduces the internal mechanical losses in the cylinder-piston group of the engine, thereby increasing the durability of its operation and creates prerequisites for forcing by increasing the speed of movement of the pistons inside the cylinders and increasing the speed of the output shaft.

А.В. Жданов, А.Н. Митрофанов, А.А. Хомяков, А.В. Степанова, С.А. Ланшаков
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗНОПРОФИЛЬНЫХ КУЛАЧКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ

Ключевые слова: трехмерное моделирование, изготовление, кулачки, САПР, станок с ЧПУ.

Целью данной работы была конструкторско-технологическая подготовка изготовления кулачков различного профиля с использованием САПР различного уровня. Первоначально в САПР Компас строился профиль кулачка и твердотельная модель, которая конвертировалась в САПР Creo для изготовления деталей на станке с ЧПУ.

A.V. Zhdanov, A.N. Mitrofanov, A.A. Homyakov, A.V. Stepanova, S.A. Lanshakov
DESIGN-TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MANUFACTURE OF CAMS OF DIFFERENT PROFILES WITH THE USE OF CAD/CAM-SYSTEMS AT VARIOUS LEVELS

Keywords: three-dimensional modeling, manufacturing, cams, CAD, CAM, CNC machine.

The purpose of this work was the design and technological preparation of the manufacture of Cams of different profiles using CAD at different levels. Initially, the Compass CAD built a Cam profile and a solid-state model, which was converted to CREO CAD to make parts on a CNC machine.

А.В. Жданов, А.Н. Митрофанов, А.В. Черкасова
АНАЛИЗ ЖЁСТКОСТИ И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ РВМ

Ключевые слова: роликовинтовые механизмы (РВМ), жёсткость, осевая нагрузка, теоретический расчёт.

В работе производится теоретический анализ жёсткости и осевой нагрузки роликовинтовых механизмов, которые меняются во времени из-за изменения числа зацеплений между резьбой на винте-ролике и ролике-гайке. Данная зависимость будет нелинейной из-за непостоянного количества витков в сопряжениях в каждый момент времени.

A.V. Zhdanov, A.N. Mitrofanov, A.V. Cherkasova
RIGIDITY AND AXIAL LOAD ANALYSIS FOR ROLLER SCREW MECHANISMS

Keywords: rollerscrew mechanisms (RSM), stiffness, axial load, theoretical calculation.

This work provides a theoretical analysis of the stiffness and axial load of rollerscrew mechanisms, which change in time due to changes in the number of gears between the threads on the screw-roller and the roller-nut. This dependence will be non-linear, due to their conjugate change.

В.Г. Зарубский

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО УСТОЙЧИВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЬЮТЕРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АРХИТЕКТУРЫ

Ключевые слова: автоматизированная система управления, надежность, структурная устойчивость, адаптация, управляющий компьютер.

Повышение надежности автоматизированных систем управления, а следовательно и повышение надежности управляющего компьютера, как «интеллектуального» центра любой современной системы управления, предлагается осуществлять в рамках теории структурной устойчивости. Данная теория предполагает ряд этапов восстановления работоспособности управляющего компьютера (функциональное диагностирование, функциональную адаптацию и алгоритмическую адаптацию). В статье представлен обобщенный анализ возможности применения данных этапов адаптации структурно-устойчивого управляющего компьютера к различным уровням архитектуры современных ЭВМ.

V.G. Zarubskiy

RECOMMENDATIONS ON THE USE OF THE DEVELOPMENT OF METHODS OF ADAPTATION OF STRUCTURALLY STABLE CONTROL COMPUTERS CONTROL SYSTEMS AT DIFFERENT LEVELS OF ARCHITECTURE

Keywords: automated control system, reliability, structural stability, adaptation, control computer.

Increasing the reliability of automated control systems, and therefore increasing the reliability of the control computer as the "intellectual" center of any modern control system, it is proposed to carry out within the framework of the theory of structural stability. The given theory assumes a number of stages of recovery of operability of the control computer (functional diagnostics, functional adaptation and algorithmic adaptation). The article presents a generalized analysis of the possibility of applying these stages of adaptation of a structurally stable control computer to different levels of modern computer architecture.

Г.Е. Кокиева, И.В. Гоголева, Д.М. Ноев, В.П. Друзьянова

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОМБИНИРОВАННОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Ключевые слова: техническое средство, предпосевная обработка, агрегат, рабочие органы, производительность, технологический процесс, точность обработки.

Главной задачей сельскохозяйственного производства является повышение эффективности всех его отраслей, обеспечение страны продовольствием и сырьём для перерабатывающей промышленности. Решение этих задач возможно только при наличии прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и эффективной техники. Ведущее место здесь принадлежит разработке и внедрению машин с прогрессивными рабочими органами, которые могут обеспечить качественное выполнение технологического процесса при снижении его энергоемкости.В статье рассмотрен процесс взаимодействия рабочих органов с почвой, получены аналитические выражения позволяющие установить зависимость горизонтальной и вертикальной, составляющих силы сопротивления дискового почвообрабатывающего орудия в функциях объёма вырезанного пласта почвы. Конструкция культиватора определяет качество выполняемой им операции и затраты на ее осуществление.

G.E. Kokieva, I.V. Gogoleva, D.M. Noev, V.P. Druzyanova

AUTOMATION OF THE WORK OF THE WORKING BODIES OF THE COMBINED WEAPON FOR PRESEEP SEED TREATMENT

Keywords: technical tool, pre-sowing treatment, aggregate, working bodies, productivity, technological process, precision of processing.

The main task of agricultural production is to increase the efficiency of all its sectors, providing the country with food and raw materials for the processing industry. The solution to these problems is possible only with the availability of advanced technologies for the cultivation of agricultural crops and efficient machinery. The leading place here belongs to the development and implementation of machines with progressive working bodies that can ensure high-quality execution of the technological process while reducing its energy consumption. The article discusses the process of interaction of working bodies with soil, analytical expressions are obtained that allow us to establish the horizontal and vertical relationships of the resistance forces of a disk tillage implements in the volume functions of the cut soil layer. The design of the cultivator determines the quality of the operation performed by him and the costs of its implementation.

Г.Е. Кокиева, С.А. Ягловский, Ч.Г. Машиев, Д.М. Ноев, Е.И. Кондакова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ВСКАРМЛИВАНИЯ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ

Ключевые слова: северные олени,кормоприготовление, кормление, автоматизация, управление, кормовые добавки, эффективность, физиологическая активность.

Северные олени в пределах ареала обитания круглогодично кормятся на естественных кормовых угодьях. Важнейшая видовая адаптация у северных оленей - приспособленность к добыванию и питанию ягелем, позволяет северному оленю существовать в различных условиях тайги, гор и тундры, быстро набирать и дольше сохранять упитанность, получать здоровый приплод, переживать летнюю инсоляцию и нашествие кровососущих насекомых, успешно проводить гон и зимовку. В связи с этим в настоящее время на территории центральной Якутии остро стоит вопрос кормления северных оленей. Представлены эффективные автоматизированные технологии приготовления кормовых добавок, обеспечивающие повышение физиологической активности северных оленей.

G.E. Kokieva, S.A. Jaglowskik, Ch.G. Mashiev, D.M. Noev, E.I. Kondakova

AUTOMATION OF THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF FEED PRODUCT FOR FEEDING REINDEER

Keywords: reindeer, forage preparation, feeding, automation, management, feed additives, efficiency, physiological activity.

Reindeer within their range feed on natural forage all year round. The most important species adaptation in reindeer - adapted to extracting and eating the lichen, allows reindeer to exist in various conditions of the taiga, mountains and tundra, to quickly gain and to keep the fatness, to obtain healthy offspring, to survive the summer insolation and the invasion of blood-sucking insects, successfully carry out the rut and the winter. In this regard, currently in the territory of Central Yakutia, the issue of feeding reindeer is acute. The effective automated technologies of preparation of feed additives providing increase of physiological activity of reindeer are presented.

А.Р. Минулина, Т.Г. Макарова

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯМИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НОВЫМИ МЕТОДАМИ

Ключевые слова: моделирование, аддитивные технологии, методы, прототипирование, послойное формообразование.

В работе рассмотрены новые подходы предполагающие создание изделий путем постепенного добавления материала, который может быть одинаковым или различным. В статье рассматриваются методы аддитивных технологий, их положительные и отрицательные стороны. Несмотря на выявленные проблемы у аддитивного производства есть ниша, в которой оно успешно развивается: производство единичных изделий и мелких партий уникальных деталей из дорогих материалов и в тех случаях, когда стоимость станочной обработки высока. Одна из сильных сторон аддитивного производства — штучное изготовление изделия любой формы.

A.R. Minulina, T.G. Makarova

MANAGEMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGIES BY NEW METHODS

Keywords: *modeling, additive technologies, methods, prototyping, layer-by-layer shaping.*

The paper considers new approaches involving the creation of products by gradually adding material that can be the same or different. The article discusses the methods of additive technologies, their positive and negative sides. Despite the identified problems, additive manufacturing has a niche in which it is successfully developing: the production of single products and small batches of unique parts from expensive materials and in cases where the cost of machine processing is high. One of the strengths of additive manufacturing is the piece manufacturing of products of any shape.

А.А. Силаев, Е.Ю. Силаева, Е.С. Данилина, Н.С. Савина, В.С. Сапарова

ЦИФРОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: цифровой двойник, проектирование системы управления, индустрия 4.0, модель теплообменного аппарата.

Работа посвящена вопросу проектирования цифровых двойников объектов химической промышленности. В работе приведены рекомендации по проектированию системы управления теплообменным аппаратом с применением технологии цифровых двойников. Для теплообменного аппарата разработаны основные схемы для его проектирования и эксплуатации.

A.A. Silaev, E.U. Silaeva, E.S. Danilina, N.S. Savina, V.S. Saparova

DIGITAL DESIGN OF PROCESS CONTROL SYSTEMS FOR THE CHEMICAL INDUSTRY

Keywords: digital double, heat exchanger, control system design, industry 4.0, model of heat exchanger.

The work is devoted to the design of digital doubles of chemical industry objects. The paper provides recommendations on the design of a heat exchanger control system using digital twin technology. The main schemes for its design and operation have been developed for the heat exchanger.

Л.А. Симонова, Е.И. Егорова, А.И. Ахмадиев

МОДУЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Ключевые слова: интеллектуальная поддержка, база знаний, нечеткая логика, нечеткое множество, лингвистическая переменная, система поддержки принятия решений, функция принадлежности, фаззификация, дефаззификация.

Настоящая статья посвящена вопросу формирования маршрута обработки поверхности конструктивного элемента «Отверстие» на основе нечеткой логики в программном обеспечении Fuzzy Logic Toolbox в среде Matlab. Показана реализация работы модуля на примере конструктивного элемента типа «Отверстие», в зависимости от входных параметров шероховатость и точность размеров. Выбор оптимального маршрута обработки поверхности основывается на знании теории резания, которая непрерывно совершенствуется, а вместе с ней совершенствуются и методы обработки, появляются новые инструменты, оборудования и новые приемы обработки. Все это оказывает серьезное влияние на качество получаемых деталей и позволяет установить наиболее высокие показатели производительности и снижения трудоемкости изготовления детали в целом.

L.A. Simonova, E.I. Egorova, A.I. Akhmadiev

SURFACE PROCESSING ROUTES FORMULATION MODULE BASED ON FUZZY LOGIC

Keywords: intellectual support, knowledge base, fuzzy logic, fuzzy set, linguistic variable, decision support system, membership function, fuzzification, defuzzification.

This article is devoted to the formation of a surface treatment route for the Hole structural element based on fuzzy logic in the Fuzzy Logic Toolbox software in Matlab. The implementation of the module is shown on the example of a structural element of the "Hole" type, depending on the input parameters, roughness and dimensional accuracy. The choice of the optimal surface treatment route is based on knowledge of the theory of cutting, which is constantly being improved, and with it the processing methods are improved, new tools, equipment and new processing techniques appear. All this has a serious impact on the quality of the parts and allows you to set the highest performance and reduce the complexity of manufacturing parts in general.

С.С. Федоров, Г.Е. Кокиева

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ОБЪЕДИНЕНИЯХ

Ключевые слова: межхозяйственная кооперация, структурное преобразование, эффективность производства, сельхозпродукция, инвестиционная деятельность, потребительские кооперативы, конкурентноспособность, уставной капитал.

Функционирование предприятий в условиях рынка предусматривает трансформацию организационно-экономических форм и структур основных хозяйственных звеньев в целях обеспечения адаптации их к рыночной среде и

S.S. Fedorov, G.E. Kokieva

ECONOMIC RELATIONSHIPS IN INTER-ECONOMIC ENTERPRISES AND ASSOCIATIONS

Keywords: inter-farm cooperation, structural transformation, production efficiency, agricultural products, investment activity, consumer cooperatives, competitiveness, authorized capital.

The functioning of enterprises in the market provides for the transformation of organizational and economic forms and structures of the main economic units in order to ensure their adaptation to the market environment and the activation of innovation and investment activities. This paper describes the mechanism of inter-farm cooperation and agro-industrial integration in the Republic of Sakha (Yakutia).

активизации инновационно-инвестиционной деятельности. В данной работе описывается механизм работы межхозяйственной кооперации и агропромышленная интеграция в республике Саха (Якутия).

А.И. Кононова
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЫХ ТОЧЕК ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФАЙЛА В ПИРИНГОВОЙ СЕТИ

Ключевые слова: обыкновенные дифференциальные уравнения, устойчивость, файлообменные сети.

В статье рассматривается динамическая модель распространения файла в пиринговой сети BitTorrent, позволяющая оценить тенденции изменения количества количества сидеров и личеров на раздаче. Описаны ключевые этапы исследования: поиск особых точек, определение их динамики.

A.I. Kononova
INVESTIGATION OF SINGULAR POINTS OF SINGLE TORRENT WITH P2P NETWORK

Keywords: file-sharing network, ODEs, dynamical systems, stability.

This paper deals with a dynamic model of file distribution in the BitTorrent peer-to-peer network, which allows to estimate the trends in the number of seeders and leechers on single torrent. Search for special points, studying of their dynamics are described.

Д.П. Сидоров, С.Д. Шибайкин, А.А. Аббакумов
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: машинное обучение, нейронная сеть, классификатор, метрика точности, бустинг, бэггинг, стекинг.

В работе рассмотрены различные модели анализа текстов (включая машины опорных векторов, нейронные сети, логистические регрессии, наивный Байесовский классификатор). Предложено повысить эффективность детекции сообщений путем объединения классификаторов в ансамбли.

D.P. Sidorov, S.D. Shibaykin, A.A. Abbakumov
APPLICATION OF METHODS OF MACHINE LEARNING FOR ANALYSIS OF TEXTS

Keywords: machine learning, neural network, classifier, accuracy metric, boosting, bagging, stacking.

The paper considers various models of text analysis (including reference vector machines, neural networks, logistic regressions, naive Bayes classifier). It is proposed to increase the efficiency of message detection by combining classifiers into ensembles.

В.И. Хрусталев
УЧЕТ ВИЗУАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В РЕЗУЛЬТАТООРИЕНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ

Ключевые слова: человеко-машинные интерфейсы, результатоориентированный подход, индекс визуальной сложности.

Рассматривается вопрос применения индекса визуальной сложности человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) в результатоориентированной модели взаимодействия оператора-человека с ЧМИ. Описаны основные действий оператора-человека при решении определенных профессиональных задач. Показан перечень ошибочных действий оператора-человека при реализации поставленных целей.

V.I. Khrustalev
TAKING INTO ACCOUNT THE VISUAL COMPLEXITY OF HUMAN-MACHINE INTERFACES IN A RESULT-ORIENTED APPROACH

Keywords: human-machine interfaces, result-oriented approach, visual complexity index.

The question of application of the index of visual complexity in the result-oriented model of human-operator interaction with the human-machine interface is considered. The basic actions of the human operator in solving certain professional tasks are described. The list of erroneous actions of the human operator in the implementation of the goals is shown.

А.Н. Блазнов, А.С. Кротов, М.Е. Журковский
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ БАЛЛОНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: схема армирования, композитный баллон, ровинг.

Применена безмоментная модель проектирования баллона высокого давления (оболочек вращения), изготавливаемого из композиционных материалов (КМ) намоткой. Предложены расчетные выражения для определения оптимального угла укладки волокон и толщины слоя, для различных видов армирующего ровинга.

A.N. Blaznov, A.S. Krotov, M.E. Zhurkovsky
MODELING OF AN OPTIMUM REINFORCEMENT LAYOUT FOR HIGH-PRESSURE CYLINDER

Keywords: reinforcement layout, composite cylinder, roving

A momentless model was applied herein for the design of a high-pressure cylinder (rotational shells) being fabricated from composite materials by filament-winding. Calculations are suggested to identify an optimum angle of fiber packing and a layer thickness, for different types and reinforcing rovings.

Т.Н. Бобылева
О ВЫЧИСЛЕНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕОДНОРОДНЫХ УПРУГО-ПОЛЗУЧИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

Ключевые слова: усреднение, ползучесть, слоистый стержень.

В статье рассматривается цилиндрический полый стержень со слоистой структурой вдоль радиуса. Слои составлены из изотропных упруго-ползучих материалов. Дано аналитическое решение задачи о напряженно-деформированном состоянии такого стержня. Жесткости на растяжение и изгиб магут

T.N. Bobyleva
ON THE CALCULATION OF EFFECTIVE CHARACTERISTICS OF INHOMOGENEOUS ELASTIC-CREEPING CYLINDER RODS

Keywords: averaging, creep, layered rod.

The paper deals with a cylindrical hollow rod with a layered structure along the radius. Layers consist of isotropic elastic creeping materials. An analytical solution is given for the problem of the stress-strain state of such rod. Tensile and bending stiffness can be presented in analytical form for various loading of a layered rod in the presence of radial symmetry.

быть представлены в аналитической форме для различных видов нагружения стержня при наличии радиальной симметрии.

И.И. Воротынцева, Н.О. Марценюк
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОБРАТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: численное моделирование, оптимизация, преобразование энергии, автофазировка.

В результате численного моделирования выявлены параметры автофазного устройства, позволяющие существенно повысить коэффициент полезного действия режима обратного преобразования. Показано, что продлить процесс преобразования энергии и снизить величину остаточной ВЧ мощности можно соответствующим выбором величины и формы напряженности электростатического поля. Найдены оптимальные режимы устройства, обеспечивающие максимальное преобразование ВЧ мощности в мощность постоянного тока на минимальной длине автофазной секции.

I.I. Vorotyntseva, N.O. Martsenyuk
NUMERICAL MODELLING OF THE REVERSE ENERGY CONVERSION MOOD

Keywords: numerical modeling, optimization, energy conversion, autophasing.

Numerical modeling displays some parameters of an autophase device which allow to considerably enhance the performance coefficient of the reverse energy conversion mood. It is shown that in order to prolong the energy conversion process and bring down the amount of the residual high frequency capacity it is quite enough to choose an appropriate value and form of the electrostatic field strength. The article shows the established optimal device moods that ensure the maximum high frequency capacity conversion into the constant current strength on the minimum autophase section length.

А.В. Денискин, Е.А. Немчинова, С.А. Федосин, Н.П. Плотникова
КЛАССИФИКАЦИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ключевые слова: машинное обучение, искусственная нейронная сеть, свёрточная нейронная сеть, нормативно-справочная информация, Keras.

В статье представлен процесс обучения свёрточной нейронной сети для классификации нормативно-справочной информации. Продемонстрирован подбор параметров сети для достижения наибольшей точности классификации.

A.V. Deniskin, E.A. Nemchinova, S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova
CLASSIFICATION OF NORMATIVE REFERENCE INFORMATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Keywords: machine learning, artificial neural network, convolutional neural network, reference information, Keras.

The article presents methods of training a convolutional neural network for text classification. The selection of network parameters to achieve the highest classification accuracy is demonstrated.

Н.В. Дмитриев
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Ключевые слова: моделирование, транспортная сеть, оптимальная стратегия, цифровая модель рельефа.

Представлены результаты выбора оптимальной стратегии при моделировании участка транспортной сети на местности, представимой нелинейностью в виде параболоида вращения. Описаны параметрические формулы траекторий трасс, введена модель функции стоимости. По результатам эксперимента получена диаграмма выбора оптимальной стратегии.

N.V. Dmitriev
SELECTION OF OPTIMUM STRATEGY IN MODELING OF TRANSPORT NETWORK SECTION

Keywords: modeling, transport network, optimum strategy, digital elevation model.

Selection of optimum strategy in modeling of transport network section is discussed. Modeling is based on digital elevation model as paraboloid of revolution. Parametric formulas of tracks are presented, model of costs is introduced. The research findings are shown in the diagram of optimum strategy selection.

А.И. Егунова, А.А. Аббакумов, М.А. Воропаева, Д.П. Сидоров
ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Ключевые слова: дистанционное образование, хранилище электронных образовательных ресурсов, информационный поиск, латентный семантический анализ, формирование тезауруса.

В статье рассматривается структура хранилища электронных образовательных ресурсов и методы обработки загружаемой информации, для эффективной организации удобного информационного поиска с помощью запросов на естественном языке.

A.I. Egunova, A.A. Abbakumov, M.A. Voropaeva, D.P. Sidorov
SEARCH SYSTEM FOR WORKING WITH THE BASIS OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES

Keywords: distance education, repository of electronic educational resources, information retrieval, latent semantic analysis, thesaurus formation.

This article presents the structure of the repository of electronic educational resources and methods of processing downloaded information for the effective organization of convenient information retrieval using queries in a natural language.

Е.Н. Канинина, В.В. Родин
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИНЫ

Ключевые слова: колебание, уравнение, пружина, модель, сила, условие.

В работе представлены результаты разработки математической модели колебаний винтовых пружин. Рассматривается материал, посвященный уравнениям колебаний пространственных стержней. Приводятся выражения, используемые при рассмотрении колебаний.

E.N. Kaninina, V.V. Rodin
MODELING MECHANICAL SPRINGS OF SPRING

National Research Mordovia State University

Keywords: oscillation, equation, spring, model, force, condition

The paper presents the results of the development of a mathematical model of vibrations of coil springs. The article is devoted to the equations of vibration of spatial rods. The expressions used in considering oscillations are given.

Л.В. Кирьянова

ПЕРВОЕ СОБСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛИ БЕГЛИ-ТОРВИКА

Ключевые слова: дробное дифференцирование, собственное значение краевой задачи.

В работе проведен анализ зависимости первого (минимального) собственного значения краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка, содержащего дробную производную, от порядка дробной производной и постоянным коэффициентом перед ней.

L.V. Kirianova

THE FIRST EIGENVALUE IN THE BEGLEY TORVIK MODEL

Keywords: fractional differentiation, eigenvalue of a boundary value problem.

There are analyze the dependence of the first (minimum) eigenvalue of a boundary value problem for a second-order differential equation containing a fractional derivative on the order of the fractional derivative and a constant coefficient in front of it.

О.Ю. Кустов, И.В. Храмцов

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕПОЛНЫХ БОКОВЫХ ЯЧЕЕК ОБРАЗЦА СОТОВОЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, 3D-печать, акустические характеристики, импеданс, численное моделирование.

При определении акустических характеристик однослойного образца реальной сотовой звукопоглощающей конструкции (ЗПК) путем эксперимента в интерферометре с нормальным падением волн и численного моделирования физических процессов в интерферометре, выявлено влияние неполных боковых ячеек образца на акустические характеристики. Численное моделирование выполнено на основе решения нестационарных уравнений Навье-Стокса с учетом вязкости и сжимаемости в полной трехмерной постановке. Отмечено высокое качество количественного согласования акустических характеристик образца ЗПК, полученных в численном моделировании и в эксперименте.

O.Yu. Kustov, I.V. Khramtsov

ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF INCOMPLETE SIDE CELLS OF A LINER SAMPLE USING NUMERICAL SIMULATION

Keywords: acoustic liners, 3D-printing, acoustical characteristics, impedance, numerical simulation.

When determining the acoustic characteristics of a single-layer sample of a real liner by experiment in an interferometer with normal wave incidence and numerical simulation of physical processes in the interferometer influence of incomplete side cells of the sample on the acoustic characteristics is revealed. Numerical simulation is performed based on solving the unsteady Navier-Stokes equations with allowance for compressibility in three-dimensional statement. It is noted the good agreement of the acoustic characteristics of the liner sample obtained in numerical simulation and in experiment.

В.Е. Левин, Н.А. Лапердина, И.П. Олегин

ЧИСЛЕННЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

Ключевые слова: эффективные модули, однонаправленный композит, конечный элемент, представительный элемент, волокно, матрица.

Решается задача теории упругости для определения эффективных упругих свойств однонаправлено армированных сред методом конечных элементов. Решение строится на понятии представительного элемента среды, выбираемого из физических и геометрических соображений. Автоматизирован расчет требуемых упругих характеристик для заданного диапазона объемного содержания волокна и при различных комбинациях упругих свойств волокна и связующего.

V.E. Levin, N.A. Laperdina, I.P. Olegin

NUMERICAL APPROACH TO DETERMINING ELASTIC PROPERTIES OF ONE-DIRECTIONAL REINFORCED COMPOSITES

Keywords: effective modules, unidirectional composite, finite element, representative element, fiber, matrix.

In this paper we discuss solution of elasticity theory problem for elastic property definition of unidirectional structure. The solution is performed by the conception of representative element. It is chosen on the basis of physical and geometric considerations. The set of macros in integrated development environment ANSYS using integral software language APDL is implemented. This set of macros permits calculate required elastic properties for given range of fiber volume fraction and different elastic property combinations of fiber and epoxy.

Д.П. Сидоров, А.А. Аббакумов, А.И. Егунова, С.Д. Шибайкин

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИМ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ

Ключевые слова: асимметричный алгоритм, шифрование, управление доступом, иерархическая информация.

В большинстве компьютерных систем вся обрабатываемая информация разделяется на классы, которые образуют древовидную иерархию. Более того, типичной является ситуация, когда информация внутри каждого класса зависит от времени ее размещения в этом классе. В статье рассматривается методика управления доступом пользователей к информационным ресурсам, основанная на применении асимметричных алгоритмов шифрования.

D.P. Sidorov, A.A. Abbakumov, A.I. Egunova, S.D. Shibaykin

ALGORITHM OF HIERARCHICAL ACCESS CONTROL TO INFORMATION RESOURCES

Keywords: asymmetric encryption algorithm, encryption, access control, hierarchical data.

In most computer systems, all information processed is divided into classes that form a tree-like hierarchy. Moreover, a typical situation is when the information inside each class depends on the time it is placed in this class. The article deals with the method of user access control to information resources, based on the use of asymmetric encryption algorithms.

И.Н. Сидоров, М.С. Филиппова, А.И. Энская

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ЖЕСТКОСТИ НА КРУЧЕНИЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ

Ключевые слова: призматический многослойный стержень прямоугольного поперечного сечения, жесткость на кручение, касательные напряжения, устойчивый алгоритм расчета, метод прогонки

I.N. Sidorov, M.S. Filippova, A.I. Enskaya

ALGORITHM FOR DETERMINING tangential STRESSES AND RIGIDITY FOR TORSION OF A PRISMATIC MULTI-LAYERED ROD

Keywords: prismatic multilayer rod of rectangular cross section, torsional rigidity, tangential stresses, stable calculation algorithm, tridiagonal matrix algorithm

The article presents a stable algorithm for calculating shear

В статье представлен устойчивый алгоритм расчета касательных напряжений и жесткости на кручение призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения. Устойчивость алгоритма обеспечивается: разложением функции напряжений в виде ряда с представлением его функциональных коэффициентов через их значения на границе слоев; решением системы уравнений для определения граничных значений коэффициентов методом прогонки. Представлен пример расчета жесткости на кручение призматического многослойного стержня, состоящего из жестких стеклопластиковых слоёв и мягких слоёв резины.

stresses and torsional rigidity of a prismatic multilayer rod of rectangular cross section. The stability of the algorithm is ensured by: expanding the stress function in the form of a series with the representation of its functional coefficients by values at the layers boundary; by solving a system of equations for determining the boundary values of the coefficients by tridiagonal matrix algorithm. An example of calculating the torsional rigidity of a prismatic multilayer rod consisting of rigid fiberglass layers and soft rubber layers is presented.

И.Н. Сидоров, М.С. Филиппова, А.И. Энская
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Ключевые слова: призматический многослойный стержень прямоугольного поперечного сечения, жесткость на сдвиг, устойчивый алгоритм расчета, метод прогонки.

В статье представлен устойчивый алгоритм расчета жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня прямоугольного поперечного сечения. Устойчивость алгоритма обеспечивается: разложением функции деформаций в виде ряда с представлением его функциональных коэффициентов через их значения на границе слоев; решением системы уравнений для определения граничных значений коэффициентов методом прогонки. Представлен пример расчета жесткости на сдвиг призматического многослойного стержня, состоящего из жестких стеклопластиковых слоёв и мягких слоёв резины.

I.N. Sidorov, M.S. Filippova, A.I. Enskaya
DETERMINATION OF PRISMATIC MULTILAYER ROD DEFORMATION PARAMETERS AT TRANSVERSE BENDING

Keywords: prismatic multilayer rod of rectangular cross section, shear stiffness, stable calculation algorithm, tridiagonal matrix algorithm

The article presents a stable algorithm for calculating the shear stiffness of a prismatic multilayer rod of rectangular cross section. The stability of the algorithm is ensured by: expanding the deformation function in the form of a series with the representation of its functional coefficients by the values at the layer boundary; by solving a system of equations for determining the boundary values of the coefficients according to the algorithm of a tridiagonal matrix. An example of calculating the shear stiffness of a prismatic multilayer rod, consisting of hard layers of fiberglass and layers of soft rubber, is given.

И.П. Ситдикова, Н.В. Абдулкина
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА

Ключевые слова: уравнения Навье-Стокса, модель, система.

Рассматривается задача составления математической модели системы поддержания пластового давления на основе уравнений Навье-Стокса. Описаны расчетные формулы для определения чувствительности модели к изменению температуры, плотности и вязкости.При выборе формального аппарата для описания процессов принятий решений учтены ограничения параметров.

I.P. Sitdikova, N.V. Abdulkina
MODELING OF SYSTEM OF SUPPORT OF PLASTIC PRESSURE BASED ON NAVIER-STOKS EQUATIONS

Keywords: Navier-Stokesequations, model, system.

The problem of compiling a mathematical model of a reservoir pressure maintenance system based on the Navier-Stokes equations is considered. Calculation formulas are described to determine the sensitivity of the model to changes in temperature, density and viscosity. When choosing a formal apparatus for describing decision-making processes, parameter limitations are taken into account.

С.А. Соловьев, О.В. Соловьева, Р.Р. Хусаинов, Г.Р. Бадретдинова
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: высокопористый ячеистый материал, предфильтр, численный расчет.

В данном исследовании рассматривается работа предфильтра, применяемого в системах фильтр-предфильтр. Проведены численные расчеты течения газа в пористой среде в различных комбинациях фильтров и предфильтров. Получены зависимости эффективности осаждения частиц от геометрических параметров фильтров. Результаты работы показывают, что предварительный фильтр в случае пяти и десяти пластин повышает эффективность осаждения для высокопористого ячеистого материала. Предфильтр с пятью изогнутыми пластинами является более предпочтительным по сравнению с десятью пластинами.

S.A. Solovev, O.V. Soloveva, R.R. Khusainov, G.R. Badretdinova
ESTIMATION OF THE PREFILTER MODEL EFFICIENCY BY NUMERICAL SIMULATION

Keywords: open cell foam material, prefilter, numerical calculation.

This study discusses the operation of the prefilter used in filter-prefilter systems. We performed numerical simulations of the gas flow in a porous medium in various combinations of filters and prefilters. We got the dependences of the efficiency of particle deposition on the geometric parameters of the filters. The results show that the pre-filter in the case of five and ten plates increases the deposition efficiency for open cell foam material. A prefilter with five curved plates is preferred over ten plates.

С.А. Федосин, Н.П. Плотникова, А.И. Егунова, К.Э. Рыскин
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: машинное обучение, искусственная нейронная сеть, рекуррентная нейронная сеть,

S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova, A.I. Equnova, K.E. Ryskin
USE OF A RECURRENT NEURAL NETWORK FOR CLASSIFICATION OF REGULATORY REFERENCE INFORMATION

Keywords: machine learning, artificial neural network, recurrent neural networks, classification, classes, objects, Keras.

классификация, классы, объекты, Keras.

В статье рассматривается структура рекуррентной нейронной сети для классификации данных нормативно-справочной информации промышленного предприятия. Проанализированы методы повышения точности обучения нейронной сети с использованием выборок с различным соотношением результирующих классов.

The article considers the structure of a recurrent neural network for the classification of data of normative and reference information of an industrial enterprise. The methods of increasing the accuracy of training the neural network using samples with different ratios of the resulting classes are analyzed.

А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Ключевые слова: математическая модель, крепь, стержневая система, программа.

Разработана математическая модель механизированной крепи, построенной в виде стержневой системы, и выполнена ее программная реализация в системе компьютерной математики.

A.B. Tsvetkov, L.D. Pavlova

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE powered supports SECTION

Keywords: mathematical simulation, lining, rod system, program.

A mathematical model of the power support constructed in the form of a rod system is developed, and its software implementation in a computer mathematics system is performed.

А.А. Шашков, В.А. Минаев

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТИ ВЫХОДНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЛИНЕЙНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ РЕГИСТРОВ СДВИГА

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, разведзащищенность, линейный рекуррентный регистр сдвига, эквивалентная сложность, примитивный элемент поля, примитивный и неприводимый многочлен.

В работе рассматриваются основные свойства и методы обеспечения стойкости к раскрытию выходных последовательностей ЛРРС, позволяющих при проектировании систем связи с шумоподобными сигналами формировать заданную разведзащищенность ПСП.

A.A. Shashkov, A.A. Minaev

METHODS OF THE BEST PSEUDO-RANDOM SEQUENCES WEEKEND OF THE LINE RECURS RESVES SDWIG

Keywords: pseudo-random sequence, intelligence, linear shift recurent register, equivalent complexity, primitive element of the field, primitive and irreducible multi-member.

The paper examines the main properties and methods of ensuring the detection of RRS output sequences, which allow the design of noise-like signal communication systems to form a given intelligence protection of the PSA.

А.А. Шашков, В.А. Минаев

МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ БЕЗ ПРЕВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОДАВЛЯЕМОГО СИГНАЛА

Ключевые слова: псевдослучайная манипуляция, перехват сигнала, преднамеренные помехи, перекрытие псевдослучайных последовательностей.

В работе рассмотрены эффективные методы подавления систем связи с шумоподобными сигналами без повышения мощности подавляемого сигнала при использовании одинаковых псевдослучайных последовательностей (ПСП) в различных сеансах связи.

A.A. Shashkov, V.A. Minaev

METHOD OF SUPPRESSING THE COMMUNICATION SYSTEM WITH NOISE-LIKE SIGNALS DO NOT EXCEED THE POWER SUPPRESSED SIGNAL

Keywords: pseudo-random manipulation, signal interception, intentional interference, overlapping pseudo-random sequences.

The paper considers effective methods of suppressing communication systems with noise-like signals without increasing the power of the suppressed signal when using the same pseudorandom sequences (SRP) in different communication sessions.

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

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

№11 2019

Направления:

05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)
05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)
05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)
05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)
05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)
05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (физико-математические науки)

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 26.10.2019 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 26.10.2019
11,6 усл.печ.л. 13,8 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2350.

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»