

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№4 2020

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2020**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 96 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.ntvr.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харламиди – д.х.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, А.В. Репина, Р.Х. Зиятдинов, Р.Х. Шагимуллин</i> УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИОКОЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТОВ	7
05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Д.С. Горбатенко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ТРОЛЛЕЙБУСАМИ	12
<i>Е.С. Еранцева, Р.О. Мишанов, М.Н. Пиганов</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА	15
<i>Ю.Н. Кондрашов</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНОВЫХ РЕШЕНИЙ НА СЕТЕВЫХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ ЗАДАЧ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ	20
05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	
<i>В.А. Егоров, Е.В. Плотников</i> МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫМ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ	25
<i>В.А. Егоров, Е.В. Плотников</i> МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ	29
<i>К.В. Клочкова, Л.А. Симонова, Е.Н. Сосенушкин, Л.Р. Юсупов</i> РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ СВОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ	33
<i>Г.Е. Кокиева</i> МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ	37
<i>В.И. Коломиец</i> АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ УМНОГО ОСВЕЩЕНИЯ	39
<i>В.В. Лебедев, О.В. Пухова</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	44
<i>Л.А. Симонова, Г.М. Капитонова</i> МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ	48
05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>М.П. Овчинцев, Е.М. Гусакова</i> ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ФУНКЦИЙ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ НЕКОТОРЫМ КЛАССАМ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ	52
05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>В.Ю. Мельцов, А.К. Крутиков, В.Д. Подковырин</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ БОКСЕРСКОГО ПОЕДИНКА ЗА ТИТУЛ ЧЕМПИОНА МИРА ПО ВЕРСИИ WBC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LVQ-СЕТИ	59

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

<i>А.С. Андреев, Е.В. Дороговцева, Е.М. Рябова</i> ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ТЯЖЕЛОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ	62
<i>Асмаа Елсайед</i> МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОРЯДКА ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ В МОДЕЛИ БЕГЛИ-ТОРВИКА	66
<i>Ф.А. Галимянов, В.Т. Якупова</i> ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	70
<i>Н.Ю. Жбанова, С.А. Жбанов</i> ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С САМОПОДОБИЕМ	73
<i>С.А. Соловьев, Л.В. Ахметвалеева, О.В. Соловьева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ ГАЗА ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА	77
<i>О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Л.В. Ахметвалеева</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ-РЕАГИРУЮЩЕГО ПОТОКА ГАЗА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ТРАДИЦИОННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СЛОЙ КАТАЛИЗАТОРА И КАТАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕЙСТОГО МАТЕРИАЛА	80

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

<i>Е.А. Беляев, О.А. Емельянова, А.С. Исаев</i> ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ БАНКА РОССИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРЕДИТНО-ФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ	84
<i>А.С. Исаев, О.И. Луценко, А.А. Симанович</i> ОБЗОР МЕТОДИК ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ	87

АННОТАЦИИ	90
------------------	----

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>V.S. Minkin, A.V. Repina, R.H. Ziyatdinov, R.H. Shagimullin</i> CURING PROCESS CONTROL OF INDUSTRIAL THIOCOLS WITH OLIGOESTER ACRYLATES	7
--	---

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

<i>D.S. Gorbatenko</i> SECURITY OF PASSENGER TRANSPORTATION BY TROLLEYBUSES	12
<i>E.S. Erantseva, R.O. Mishanov, M.N. Piganov</i> FORECASTING OF THE INTEGRATED CHIPS QUALITY BASED ON CLUSTER ANALYSIS	15
<i>Y.N. Kondrashov</i> OPTIMIZATION OF PLANNED SOLUTIONS ON NETWORK MODELS FOR TASKS OF LARGE DIMENSION	20

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

<i>V.A. Egorov, E.V. Plotnikov</i> MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM OF THREE-PHASE INVERTER	25
<i>V.A. Egorov, E.V. Plotnikov</i> MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM OF AUTONOMOUS INVERTER WITH SPACE-VECTOR WIDTH-PULSE MODULATION	29
<i>K.V. Klochkova, L.A. Simonova, E.N. Sosenushkin, L.R. Yusupov</i> IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM TO ENSURE THE REQUIRED PROPERTIES DEMONSTRATED BY EXAMPLE OF PARTS MADE OF CAST IRON WITH VERMICULAR GRAPHITE	33
<i>G.E. Kokieva</i> METHOD OF THE AUTOMATED TREATMENT OF AGROWASTES	37
<i>V.I. Kolomiets</i> ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF SMART LIGHTING PROJECTS	39
<i>V.V. Lebedev, O.V. Puhova</i> SYSTEM OF AUTOMATIC REGULATION OF PROCESSES IN HEAT EXCHANGER OF THE BOILER PLANT	44
<i>L.A. Simonova, G.M. Kapitonova</i> METHOD OF FORMING ALTERNATIVE TECHNOLOGICAL ROUTES USING A FRAME MODEL OF KNOWLEDGE REPRESENTATION	48

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

<i>M.P. Ovchintsev, E.M. Gusakova</i> OPTIMAL RECOVERY OF DERIVATIVES OF FUNCTIONS BELONGING TO CERTAIN CLASSES OF ANALYTICAL FUNCTIONS	52
---	----

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

<i>V.Yu. Meltsov, A.K. Krutikov, V.D. Podkovyrin</i> FEATURES OF FORMING A TRAINING SAMPLE WHEN PREDICTING A BOXING MATCH FOR THE WBC WORLD TITLE USING THE LVQ NETWORK	59
---	----

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

<i>A.S. Andreev, E.V. Dorogovtseva, E.M. Ryabova</i> ON THE MOTION CONTROL OF A HEAVY SOLID BODY AROUND A FIXED POINT	62
---	----

<i>Asmaa Elsayed</i> METHOD FOR PARAMETRIC IDENTIFICATION OF THE ORDER OF A FRACTIONAL DERIVATIVE IN THE BEGLEY- TORVIK MODEL	66
<i>F.A. Galimyanov, V.T. Yakupova</i> APPLICATIONS OF THE STATISTICAL METHOD FOR TRAINING A NEURAL NETWORK	70
<i>N.Yu. Zhanova, S.A. Zhanov</i> FEATURES OF SELF-SIMILARITY TIME SERIES FILTERING	73
<i>S.A. Solovev, L.V. Akhmetvaleeva, O.V. Soloveva</i> INVESTIGATION OF OF THE DESIGN OF THE CHEMICAL REACTOR GAS SUPPLY DEVICE	77
<i>O.V. Soloveva, S.A. Solovev, L.V. Akhmetvaleeva</i> COMPARATIVE CALCULATION OF CHEMICALLY-RESPONSIVE GAS FLOW THROUGH THE TRADITIONAL GRANULAR CATALYST LAYER AND THE CATALYST BASED ON OPEN CELL FOAM MATERIAL	80

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

<i>E.A. Belyaev, O.A. Emelyanova, A.S. Isaev</i> PROBLEMS OF APPLYING THE METODOLOGICAL DOCUMENTS OF THE BANK OF RUSSIA IN ASSESSING INFORMATION SECURITY RISKS OF FINANCIAL INSTITUTIONS	84
<i>A.S. Isaev, O.I. Lutzenko, A.A. Simanovich</i> OVERVIEW OF TECHNIQUES FOR DETECTING ABNORMAL NETWORK TRAFFIC BEHAVIOR	87

ABSTRACTS	90
------------------	----

05.13.06

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ¹А.В. Репина канд. техн. наук,
¹Р.Х. Зиятдинов канд. техн. наук, ²Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Факультет наноматериалов и нанотехнологий,

Кафедра «Физика»,

²Главный редактор журнала «Научно-технический вестник Поволжья»,
Казань, nastia_repina@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИОКОЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТОВ

Установлено, что процесс отверждения промышленных тиоколов можно регулировать с помощью вводимых промышленных олигоэфиракрилатов. Условия отверждения и получение новых композиций существенно зависят от свойств вводимых добавок. Их введение позволяет получать новые герметики с улучшенными физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: *отверждение, полисульфидный олигомер (тиокол), ПМР-спектры, физико-механические свойства.*

Управление процессом отверждения промышленных тиоколов (полисульфидных олигомеров - ПСО) может осуществляться с помощью вводимых в отверждающуюся композицию олигоэфиракрилатов (ОЭА) различной функциональности, которые могут регулировать комплекс физико-механических свойств получаемых композиций.

Из литературы известно о возможном донорно-акцепторном взаимодействии полисульфидных связей ПСО с различными акрилатами [1].

Аналогичные взаимодействия наблюдались при изучении свойств олигоэфиракрилатов на основе тиогликоля [1]. О наличии химического взаимодействия в системе ПСО-ОЭА марки ТГМ-3 можно судить по ширине линии поглощения ЯМР, которая изменяется симбатно с количеством вводимого модификатора от 0,14 Э до 0,36 Э при увеличении содержания ОЭА от 3 до 20 масс.ч. Одновременно в продуктах модификации наблюдается снижение содержания групп HS – и среднечисленной функциональности продуктов модификации. На рисунке 1 (а,б,в) приведены спектры ЯМР высокого разрешения ПСО, ОЭА-ТГМ-3 и продуктов их взаимодействия, полученных при 24° и 80°С.

В таблице 1 приведены химические сдвиги протонов соответствующих групп исследованных композиций. Оценка взаимодействия олигомеров производилась по соотношению интенсивностей сигналов ЯМР, относящихся к группам А и В (табл.1).

Если отношение А/В в смеси ПСО:ТГМ-3, полученной при комнатной температуре, составляет 1,87, то при выдерживании этой смеси при 80°С в течение 4 часов оно возрастает до 2,68, что свидетельствует о снижении содержания связей =СН₂ в композиции ПСО:ОЭА.

Следовательно, можно говорить о том, что в процессе взаимодействия ПСО и ОЭА происходит частичное раскрытие двойных связей ОЭА, и образующиеся продукты содержат группы HS.

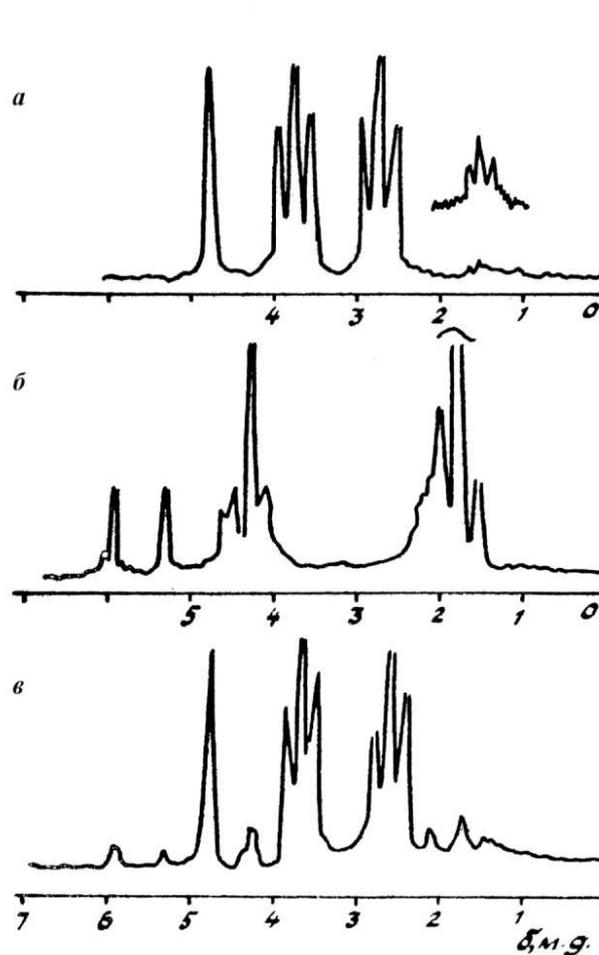
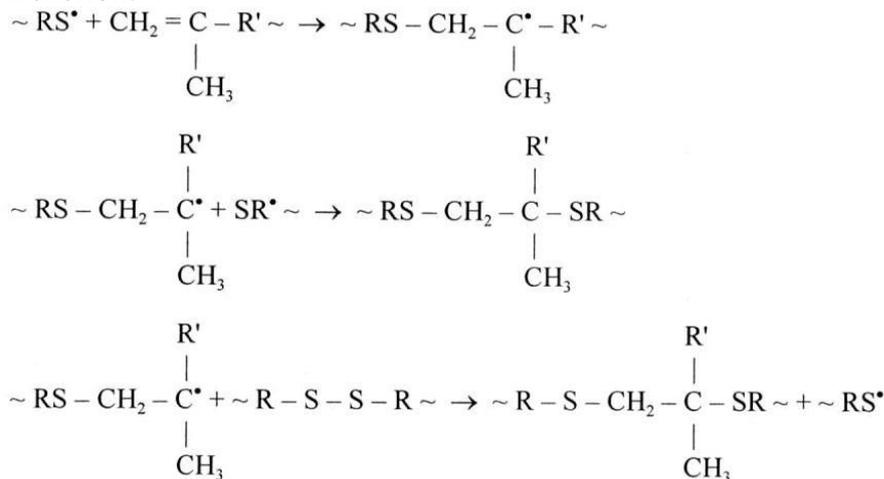


Рис. 1 – Спектры ЯМР:
 а – исходного ПСО, б – исходного ОЭА (ТГМ-3),
 в – продукта взаимодействия ПСО: ОЭА (100:20 масс.ч.), $t=80^{\circ}\text{C}$, 4 часа

Таблица 1. Химические сдвиги протонов исследованных композиций

Группа продукт	SH	SCH ₂	OCH ₂	OCH ₂ O	Группа А		Группа В	
					CH ₃ - C=C-	CH ₂ -C- O O	-C-CH ₂ - C	CH ₂ =C
ПСО	1,5	2,8	3,6	4,5	-	-	-	-
ОЭА:ТГМ-3	-	-	4,05	-	1,6	2,0	1,8	5,6
ПСО:ТГМ-3 при 24°C	1,5	2,8	3,6	4,5	1,6	2,0	1,8	5,6
ПСО:ТГМ-3 при 80°C	1,5	2,66	3,61	4,44	1,6	2,0	1,8	5,55

На основании полученных данных механизм процесса взаимодействия ПСО и ОЭА можно описать следующей схемой:



Приведенная схема взаимодействия ПСО и ОЭА также может быть охарактеризована как радикальная реакция с относительно короткой длиной цепи, которая сопровождается образованием олигомеров с реакционноспособными группами HS.

Наиболее вероятным является образование свободных макрорадикалов типа $\sim \text{RS}^*$ за счет реакции иницирования обменных процессов в ПСО, поскольку установлено, что в присутствии полисульфидных связей, всегда присутствующих в ПСО, симметричный распад дисульфидных связей облегчается [2].

Взаимодействие полисульфидных олигомеров с олигоэфиракрилатом протекает быстрее в присутствии γ -аминопропилтриэтоксисилана (АГМ-9).

На рисунке 2 приведены ПМР спектры исходных соединений.

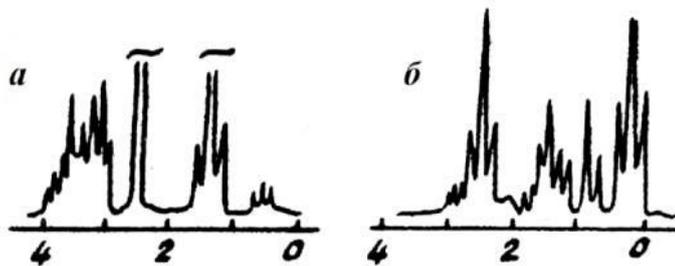


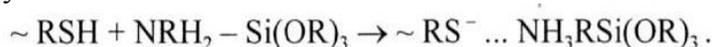
Рис. 2 – ПМР спектры: а – АГМ-9; б – ПМ.

Значения химических сдвигов протонсодержащих групп приведены в таблице 2.

Таблица 2. Химические сдвиги протонсодержащих групп исследованных композиций

Продукт Группа	OCH2O	OCH2	SCH2	SH	CH2=	CH3C	CH2	NH2	CH3Si
ПСО	4 %	3,85	2,8	1,5	-	-	-	-	-
АГМ-9	-	3,4	-	-	-	-	2,4	3,5	1,09
ПМ	-	-	2,3	1,4	-	-	1,7	-	-
ПМ:АГМ-9	-	3,4	2,1	1,25	-	-	2,4	1,0	0,9
ПСО:АГМ-9	4,33	3,52	2,63	1,45	-	-	2,54	3,6	0,95
ПСО:АГМ-9:ОЭА	4,33	3,5	2,7	1,4	5,5	2,1	2,5 2,54	3,6	0,95

Известно [2], что аminosиланы типа АГМ-9 могут выступать не только в роли модификатора тиоколовых композиций, но и оказывать заметное влияние на скорость отверждения олигомера. Механизм такого активирующего действия не обсуждается в литературе. Можно предположить, что он связан с активацией HS-группы ПСО аminosиланом по типу:



На рисунке 3 приведены ПМР спектры смеси АГМ-9 и ПСО, однако согласно значениям химических сдвигов (табл.2) для этой смеси о данном взаимодействии судить трудно.

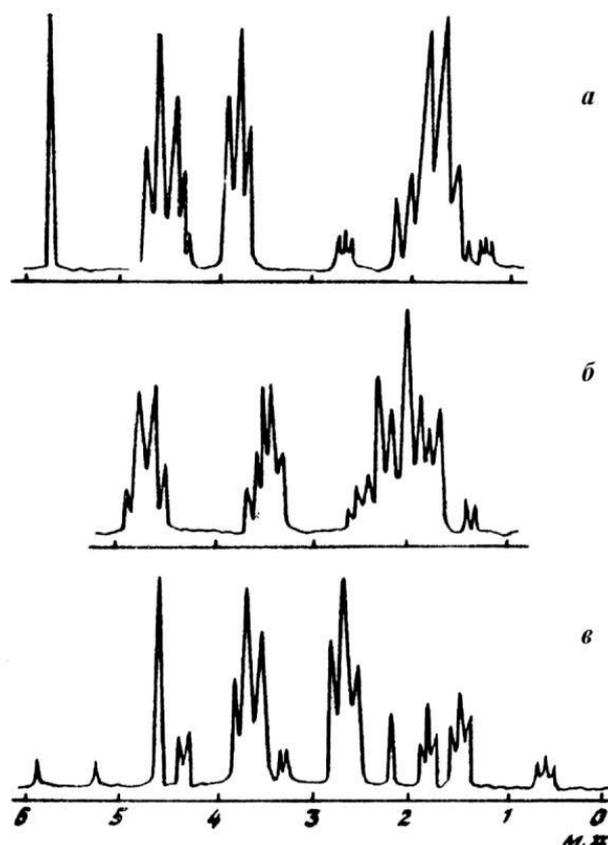
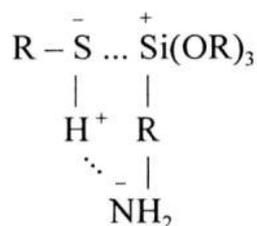


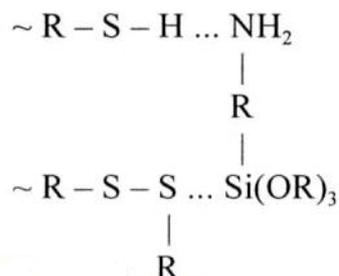
Рис. 3 – ПМР спектры композиций:
 а – ПСО:АГМ-9 = 100:10 (по массе); б – ПМ:АГМ-9 = 100:10 (по массе),
 в – ПСО:АГМ-9:ОЭА = 100:10:10 (по массе).

Причина незначительного изменения химических сдвигов HS-группы может связана с малой концентрацией этих групп в системе и повышенной вязкостью смеси. Чтобы убедиться в возможности реализации такого механизма, мы применили вместо ПСО мономерный пропилмеркаптан (ПМ) и наблюдали (рис. 3 (б)) смещение резонансных сигналов протонов NH₂-группы от 3,5 до 1 м.д. и HS-группы от 1,5 до 1,25 м.д. Одновременно можно отметить небольшое изменение химических сдвигов SCH₂-групп ПМ и Si(OR)₃ АГМ-9, что может быть связано с взаимодействием электроположительного атома кремния и атома серы в меркаптани, имеющего неподеленную пару электронов:



Такой вид взаимодействий более наглядно проявляется в системе ПСО с высокой концентрацией дисульфидных связей и АГМ-9, химический сдвиг SCH₂-группы в ПСО изменяется от 2,8 до 2,1 м.д., а CH₃Si в АГМ-9 от 1,09 до 0,95 м.д.

Таким образом, в системе ПСО-АГМ-9 возможны взаимодействия по типу:



Физико-химические показатели герметиков приведены в таблице 3.

Применение олигомерных модификаторов (олигоэфиракрилатов, полиакриловых), выполняющих функцию «временного пластификатора», позволяет снизить усадку, улучшает адгезионные показатели герметиков на основе полисульфидных олигомеров (табл. 3).

Таблица 3. Состав герметиков и их физико-механические показатели

Рецепт герметика масс.ч. на 100 масс. ч. ПСО			Физико-механические показатели вулканизатов			
П-803	ОЭА	АГМ-9	σ , МПа	L, %	l, %	A, кН/м
44	13	13	3,235	57,5	4	0,24
44	13	7	3,377	47,5	4	0,42
26	7	13	1,573	52,5	4	0,17
35	10	5	2,175	49,6	4	0,35
35	5	10	0,839	73	8	0,69
35	10	10	1,228	46,6	4	0,19
44	7	7	2,106	55	8	0,50
20	-	5	0,71	47	8	0,1

Список литературы

1. Минкин В.С. Промышленные полисульфидные олигомеры / Дебердеев Р.Я., Палютин Ф.М., Хакимуллин Ю.Н. К.: Новое знание, 2004. – 175 с.
2. Хакимуллин Ю.Н. Герметики на основе полисульфидных олигомеров / Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дебердеев Т.Р. М: Наука, 2007. – 301 с.

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

05.13.01

Д.С. Горбатенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Институт № 6 «Аэрокосмический»,
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, mai_kaf604@mail.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ТРОЛЛЕЙБУСАМИ**

В статье рассматривается проблематика обеспечения безопасности осуществления пассажирских перевозок троллейбусами в городах. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий, как с участием троллейбусов, так и по вине водителей троллейбусов. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности.

Ключевые слова: *пассажирские перевозки, троллейбусы, дорожно-транспортное происшествие, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.*

Первый троллейбус в СССР был создан в 1933 г., и с этого же года начал свое движение по улицам столицы. Функционирует данный вид транспорта до сих пор, является частью системы городского пассажирского транспорта, и, к сожалению, также подвержен участию в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), в том числе и с пострадавшими. Это происходит как в виде столкновений с другими транспортными средствами, в виде наездов на пешеходов, на препятствия, так и в виде падений пассажиров в салоне троллейбуса, происходящих из-за резкого торможения.

Особенностями троллейбуса являются: его большие габаритные размеры; зависимость от контактной линии; сравнительно большое ускорение и достаточно эффективное замедление при торможении; способность, не отрываясь от контактной сети, отклоняться в каждую сторону на 5 м; и относительно большой радиус поворота (около 14 м) [1].

Анализ статистических данных об аварийности с участием троллейбусов на улицах г. Москва показал следующее.

Троллейбусы стабильно участвуют примерно в 10 % ДТП с участием городского пассажирского транспорта (автобусы, троллейбусы, трамваи). Примерно 35 % из них это столкновения с другими транспортными средствами, 10 % наезды на пешеходов, 5 % наезды на препятствия, а оставшиеся примерно 50 % это падения пассажиров в салоне троллейбусов, произошедшие в результате экстренного торможения. Во всех случаях наездов на пешеходов именно пешеходы нарушали правила дорожного движения (ПДД), что и приводило к ДТП.

В 30 % столкновений троллейбусов с другими транспортными средствами (ТС) столкновения происходили в зонах остановок общественного транспорта, в 25 % - в зонах регулируемых и нерегулируемых перекрестков, в 20 % - на мостах, эстакадах, путепроводах. В 30 % столкновений фиксировалось сужение проезжей части вследствие проведения работ. Примерно 15 % столкновений произошли в темное время суток с включенным освещением, все в ясную погоду и сухом состоянии проезжей части. Остальные 85 % в светлое время суток, из них примерно 40 % в ясную погоду, 40 % в пасмурную и дождливую погоду с мокрым состоянием проезжей части, и 10 % в условиях снегопада при заснеженном состоянии проезжей части. Водители троллейбусов не нарушали ПДД.

Примерно 40 % падений пассажиров в салонах троллейбусов из-за резкого торможения происходило в зонах остановок общественного транспорта, примерно по 30 % в зонах перекрестков и на перегонах. В 25 % случаев падения пассажиров происходили в местах сужения проезжей части из-за припаркованного транспорта. Примерно в 30 % случаев падений пассажиров в салонах троллейбусов установлено нарушение ПДД водителями троллейбусов. Самыми распространенными видами нарушений водителями троллейбусов, приведшими к падениям пассажиров, явились нарушения правил перевозки людей (70 %), несоответствие скорости конкретным условиям движения (20 %), и несоблюдение дистанции (10 %).

Треть водителей троллейбусов, участвовавших в ДТП, женщины, среди водителей 28 % в возрастной группе 30-40 лет, 30 % в возрасте 40-50 лет, 40 % в возрасте 50-60 лет, 5 % в возрасте старше 60 лет, 5 % с водительским стажем до 3 лет, 20 % со стажем 3-10 лет, 40 % со стажем 10-20 лет, и 35 % водителей со стажем свыше 20 лет [2].

Проведенный анализ аварийности с участием троллейбусов показал следующее:

- подавляющая часть аварийности является следствием нарушений ПДД водителями других ТС и пешеходами, выражаемых в грубом пренебрежении конструктивных особенностей движения троллейбусов;

- в значительно малой степени аварийность является следствием нарушений ПДД водителями троллейбусов, что говорит о высоком и качественном уровне подготовки водителей троллейбусов, и качественным предрейсовым техническим контролем в троллейбусных парках.

Троллейбусы обладают недостаточной маневренностью и пониженной скоростью движения на кривых малого радиуса и стрелочных переводах, что особенно ощущается в условиях старой сложившейся застройки. Провода контактной сети препятствуют наилучшей видимости светофоров и дорожных знаков. Отсоединение токоприемников может приводить к травмам и повреждению светофоров и знаков. На магистральных улицах обеспечение маневра левого поворота троллейбуса может создавать аварийные ситуации и способствовать значительным временным задержкам транспортных потоков. Троллейбус очень чувствителен к состоянию дорожного покрытия и контактной сети, особенно к обледенению контактного провода. Невозможен обгон одного троллейбуса другим, если это не предусмотрено контактной сетью. Троллейбус опасен из-за существования «токов утечки», существует опасность остановки на обесточенном участке на пересечениях. На повреждённых участках дорог троллейбусу приходится значительно снижать скорость, чтобы избежать схода штанг с проводов контактной линии. Но при этом необходимо отметить, что резиновые шины троллейбуса позволяют эксплуатировать его на улицах с большими уклонами (до 8-12 %) [1, 3].

Знание и учет психико-физиологических основ управления транспортом способствуют безаварийной работе на транспорте. Водитель троллейбуса должен быть предельно внимательным, быстро оценивать обстановку, обладать необходимой реакцией. Но надо всегда помнить, что внимание водителя в течение всего рабочего дня не остается одинаковым, после 2-3 часов работы оно слабеет, ослабляется также после обеда и с наступлением темноты. Продолжительное психическое напряжение также ухудшает внимание водителя и ускоряет наступление усталости. Очень важное для водителя качество - самообладание, способность не теряться при возникновении опасности, не поддаваться панике, при этом проявляя осторожность [3].

Отсюда следует вывод, что основными направлениями профилактики аварийности с участием троллейбусов в городах являются следующие:

- минимизация прокладки контактной троллейбусной сети с поворотом налево или разворотом по магистральным улицам с высокой интенсивностью движения;

- канализирование движения троллейбусов, выражаемое в виде создания выделенного режима движения пассажирского транспорта необходимой ширины, обеспечивающей конструктивные особенности управления движением троллейбусов, минимизация пересечений;

- ужесточение и обеспечение ответственности за создание помех движению троллейбусов, приведших к ДТП, выражаемое в усилении сил и средств контроля и надзора за движением и высоким уровнем административной ответственности.

Предлагаемый набор профилактических мероприятий способен предотвратить возникновение ДТП с участием троллейбусов.

Соблюдение ПДД является главным условием предотвращения ДТП. Обеспечение соблюдения ПДД может быть выполнено двумя путями: техническими средствами и искусственными сооружениями; и средствами контроля и надзора за движением. Первый путь заключается в создании искусственных сооружений разделения встречных транспортных потоков, препятствования выходу на проезжую часть пешеходов, дополнительном светофорном регулировании, создании транспортных развязок и т.п. Эти мероприятия действительно эффективны при профилактике аварийности, но их установка требует значительных материальных затрат и длительна по времени. Второй путь, сравнимый по эффективности, заключается в усилении сил и средств контроля и надзора за движением, выражаемом в присутствии на УДС нарядов дорожно-патрульной службы (ДПС) и средств автоматической фиксации нарушений ПДД, а также высоким уровнем (в рублях) административной ответственности за нарушения ПДД. Эффективность этих мероприятий (предотвращение ДТП) проявляется непосредственно с момента их присутствия (установки) на УДС. При этом чрезвычайно важным является обеспечение неотвратимости наказания, выражаемое, например, в существовавшей ранее практике задержания водительского удостоверения до уплаты штрафа [4].

Современные троллейбусы предусматривают возможность движения автономно, с опущенными токоприемниками до 40 км, и с учетом демонтажа контактных сетей в этих местах это даст возможность видеть «чистое голубое небо» в городах. Троллейбус это экологически чистый, «тихий» вид транспорта. Обеспечение защиты движения троллейбусов от помех со стороны других транспортных средств, и сохранение системы подготовки водительских кадров и пред рейсовый технический контроль, позволит превратить троллейбусы в практически полностью безопасный вид общественного пассажирского транспорта.

Заключение. Необходимо понимать, что обеспечение безопасности функционирования городского пассажирского транспорта является важной общественной задачей, аварийность на пассажирском транспорте имеет высокую социально опасную значимость, поэтому в контролируемую деятельность должны быть активно включены не только ГИБДД, но и администрации городов, внутригородских районов, общественные организации и т.п.

Обеспечение безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности общества, городских пассажирских перевозок в частности, есть залог «комфортных» условий жизни в городах.

Список литературы

1. *Максимов А.Н.* Городской электротранспорт: Троллейбус: Учебник для нач. проф. образования – М.: ИЦ «Академия», 2004. – 256 с.;
2. ДТП на территории г. Москва за 2013-19 г., статистические данные. М.: УГИБДД ГУ МВД России по г. Москва, 2013-19;
3. *Касаткин Ф.П., Коновалов С.И., Касаткина Э.Ф.* Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: Учебное пособие для высшей школы. – М.: ООО «Академический проект», 2004. - 352 с.;
4. *Кузнецов В.В., Горбатенко Д.С., Порташников О.М.* Математическое моделирование как основа разработки программ мероприятий по повышению безопасности движения на улично-дорожной сети. М.: Безопасность дорожного движения: сборник научных трудов, ФКУ «НЦ БДД МВД России», Выпуск № 18, 2019 г., с. 110-114.

05.13.01

Е.С. Еранцева, Р.О. Мишанов канд. техн. наук, М.Н. Пиганов д-р техн. наук

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
kipres@ssau.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Приведены результаты кластерного анализа для классификации интегральных микросхем серии 564. Были использованы методы k-средних и карт Кохонена. Дана сравнительная оценка методов. В качестве критериев эффективности методов рассмотрены вероятность ошибочных решений, риски потребителя и изготовителя.

Ключевые слова: *кластерный анализ, прогнозирование, микросхема, эффективность, классификация, информативный параметр.*

Введение

Современные радиоэлектронные устройства представляют собой сложный комплекс большого числа взаимосвязанных блоков, электронных узлов и электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) состоит из большого числа активных и пассивных дискретных электронных компонентов, гибридных и полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС), микросборок, функциональных электронных устройств и других изделий. Чем важнее поставленные перед аппаратурой задачи, тем она более усложняется с технической точки зрения, т.е. растет её сложность, которая оценивается числом входящих в неё элементов. Ярким примером такого усложнения может служить бортовое оборудование, используемое на космических аппаратах (КА). Техническая сложность электронного оборудования существенно повышает требования к надёжности элементов. Жесткие условия работы оборудования, установленного на борт КА, требуют использовать самые надежные элементы, т.к. выход из строя хотя бы одного элемента может повлечь за собой потерю работоспособности всей системы.

Весьма эффективным способом повышения качества и надёжности бортовых РЭА считается отбраковка потенциально ненадёжных ЭРЭ по результатам проведённого диагностического контроля и индивидуального прогнозирования (ИП). Для ИП весьма перспективными являются методы теории распознавания образов. В эту группу входит и кластерный анализ.

Целью данной статьи – индивидуальное прогнозирование качества ИМС 564ЛН2 с классификацией образцов методами кластерного анализа.

Был проведен обучающий эксперимент. Для этого была использована методика [1]. По результатам обучающего эксперимента были выбраны информативные параметры: x_1 – время задержки сигнала по переднему фронту, мкс; x_2 – критическое питание напряжение, В. Прогнозировалась величина дрейфа тока утечки (y , %). Для решения задачи ИП был выбран пакет программ STATISTICA10 [2, 3].

В качестве исходных данных рассматривались значения информативных параметров x_1 , x_2 и значения прогнозируемого параметра y .

По результатам проведения кластерного анализа с помощью метода k-средних [4-8] получены следующие составы кластеров (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Состав кластерных групп для $угр=40$

Кластер 1 (34 экз.)						Кластер 2 (16 экз.)			
№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт
1	2	16	1	38	2	8	2	36	2
2	1	17	2	39	1	11	2	41	2
3	1	21	2	40	2	13	2	42	2
4	1	22	2	43	1	18	2	44	2
5	1	23	1	45	2	19	2		
6	2	29	1	46	2	20	2		
7	2	30	2	47	1	24	2		
9	2	31	2	48	2	25	2		
10	2	32	1	49	2	26	2		
12	2	34	1	50	2	27	2		
14	1	35	1			28	2		
15	1	37	2			33	2		
Кфакт1 = 15			Кфакт2 = 19			Кфакт1 = 0		Кфакт1 = 16	

Если кластер 1 принять за класс потенциально надёжных ИМС ($Красп=1$), то при граничном значении прогнозируемого параметра $угр=40$ риск потребителя будет равен $R_{потр.}=0,559$, риск изготовителя – $R_{изг.}=0$, вероятность ошибочных решений – $Рош.=0,38$.

Таблица 2 – Состав кластерных групп для $угр=60$

Кластер 1 (34 экз.)						Кластер 2 (16 экз.)			
№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт
1	1	16	1	38	1	8	2	36	2
2	1	17	2	39	1	11	2	41	2
3	1	21	2	40	1	13	2	42	2
4	1	22	1	43	1	18	1	44	2
5	1	23	1	45	2	19	2		
6	1	29	1	46	1	20	2		
7	1	30	1	47	1	24	2		
9	1	31	2	48	1	25	2		
10	1	32	1	49	1	26	2		
12	1	34	1	50	1	27	2		
14	1	35	1			28	2		
15	1	37	2			33	2		
Кфакт1 = 30			Кфакт2 = 4			Кфакт1 = 1		Кфакт1 = 15	

Если кластер 1 принять за класс потенциально надёжных ИМС, то при граничном значении прогнозируемого параметра $угр=60$ риск потребителя будет равен $R_{потр.}=0,118$, риск изготовителя – $R_{изг.}=0,063$, вероятность ошибочных решений – $Рош.=0,1$.

Для вычисления оптимального порога построен график (рис. 1).

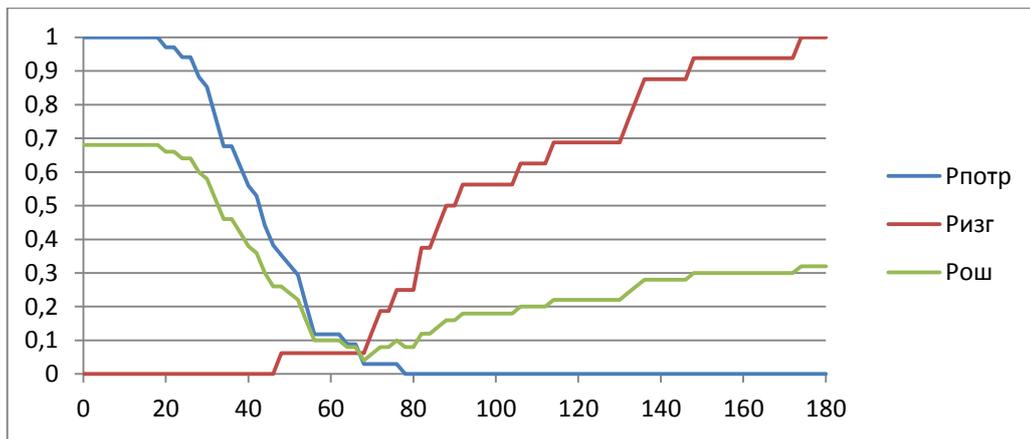


Рис. 1 – Зависимость вероятностных характеристик от порога прочностной функции

Минимальное значение $Рош.=0,04$ достигается при $угр=68$.

При этом $R_{потр.}=0,03$, $R_{изг.}=0,063$.

Кластерный анализ с помощью карт Кохонена

В качестве входных векторов использовались информативные параметры x_1 , x_2 . В качестве выходного вектора – прогнозируемый параметр y . Основы анализа приведены в [9-11].

Критерии принятия сети:

- 1) 100% распознавание обучающего и тестового множества,
- 2) минимальная средняя ошибка распознавания.

Таким образом, были получены следующие диаграммы карт (рис. 2).

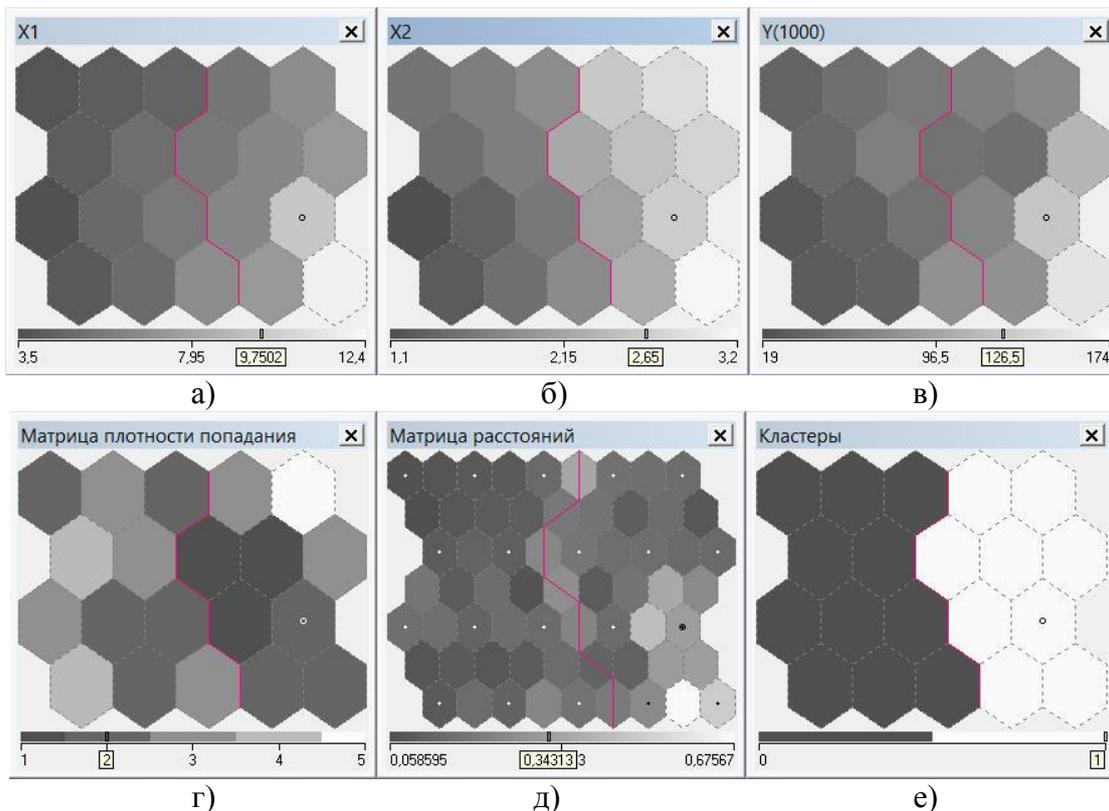


Рис. 2 – Карты данных и полученные матрицы:

- а) карта входных данных x_1 ; б) карта входных данных x_2 ;
- в) карта выходных данных y ; г) матрица плотности попадания; д) матрица расстояний;
- е) карта разбиения ячеек на кластеры

Получены следующие составы кластеров (таблицы 3, 4).

Таблица 3 – Состав кластерных групп для $угр=40$

Кластер 1 (32 экз.)						Кластер 2 (18 экз.)			
№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт
1	2	15	1	39	1	11	2	37	2
2	1	16	1	40	2	13	2	38	2
3	1	17	2	43	1	18	2	41	2
4	1	21	2	45	2	19	2	42	2
5	1	22	2	46	2	20	2	44	2
6	2	23	1	47	1	24	2	50	2
7	2	29	1	48	2	25	2		
8	2	30	2	49	2	26	2		
9	2	31	2			27	2		
10	2	32	1			28	2		
12	2	34	1			33	2		
14	1	35	1			36	2		
Кфакт1 = 15			Кфакт2 = 17			Кфакт1 = 0		Кфакт1 = 18	

Если кластер 1 принять за класс потенциально надёжных ИМС, то при граничном значении прогнозируемого параметра $угр=40$ риск потребителя будет равен $R_{потр.}=0,531$, риск изготовителя – $R_{изг.}=0$, вероятность ошибочных решений – $Рош.=0,34$.

Таблица 4 – Состав кластерных групп для $угр=60$

Кластер 1 (32 экз.)						Кластер 2 (18 экз.)			
№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт	№ экз.	Кфакт
1	1	15	1	39	1	11	2	37	1
2	1	16	1	40	1	13	2	38	1
3	1	17	2	43	1	18	1	41	2
4	1	21	2	45	2	19	2	42	2
5	1	22	1	46	1	20	2	44	2
6	1	23	1	47	1	24	2	50	1
7	1	29	1	48	1	25	2		
8	2	30	1	49	1	26	2		
9	1	31	2			27	2		
10	1	32	1			28	2		
12	1	34	1			33	2		
14	1	35	1			36	2		
Кфакт1 = 27			Кфакт2 = 5			Кфакт1 = 4		Кфакт1 = 18	

Если кластер 1 принять за класс потенциально надёжных ИМС, то при граничном значении прогнозируемого параметра $угр=60$ риск потребителя будет равен $R_{потр.}=0,156$, риск изготовителя – $R_{изг.}=0,222$, вероятность ошибочных решений – $Рош.=0,18$.

Сравнение параметров прогнозирования приведено в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Результаты кластерного анализа методом k-средних и с помощью карт Кохонена для $угр=40$

Параметр	Метод k-средних	Карты Кохонена
$R_{потр.}$	0,559	0,531
$R_{изг.}$	0	0
$Рош.$	0,38	0,34

Таблица 6 – Результаты кластерного анализа методом k-средних и с помощью карт Кохонена для $угр=60$

Параметр	Метод k-средних	Карты Кохонена
Рпотр	0,129	0,156
Ризг	0,211	0,222
Рош	0,16	0,18

По результатам разбиения выборки ИМС 564 серии на классы годных и потенциально дефектных изделий видно, что при граничном значении прогнозируемого параметра $угр=40$ количество экземпляров выборки, фактически относящихся к классу 1, составляет 15 шт. Соответственно, число отбракованных изделий составляет 35. Кластерный анализ с помощью метода k-средних и карт Кохонена позволил получить приемлемые результаты разбиения ($Рпотр.=0,559$, $Рош.=0,38$ и $Рпотр.=0,531$, $Рош.=0,34$ соответственно).

При граничном значении прогнозируемого параметра, равном 60, количество фактически годных изделий выборки составляет 31, а число отбракованных изделий – 19. Анализ с помощью метода k-средних и с помощью карт Кохонена показал приемлемые результаты ($Рпотр.=0,129$, $Рош.=0,16$ и $Рпотр.=0,156$, $Рош.=0,18$ соответственно). Таким образом, эти методы можно рекомендовать для прогнозирования и отбраковки ИМС с таким же КТВ исполнения.

Список литературы

1. *Пиганов М.Н.* Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. 267с.
2. *Вапник В.Н., Червоненкис А.Я.* Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. 416 с.
3. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
4. ПК АРБИТР (ПК АСМ СЗМА). – Методы оценки надежности, безопасности и риска – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.szma.com/pkasm.shtml>
5. *Внуков Ю.Н., Дубровин В.И.* Алгоритмы классификации с использованием дискриминантных функций // Высокие технологии в машиностроении: Сборник научных трудов ХГПУ. – Харьков, 1998. С. 64-66.
6. *Журавлев Ю.И.* Об алгебраических методах в задачах распознавания и классификации // Распознавание. Классификация. Прогноз. Математические методы и их применение. 1989. Вып. 1. С. 9-16.
7. *Hu C.* IC reliability simulation // IEEE Solid-State Cier. 1992. Vol. 27, № 3. P. 241-246.
8. *Hu C.* The Berkley reliability simulator BERT: an IC reliability simulator // Microelectr. 1992. Vol. 23, № 2. P. 97-102.
9. *Wheeler, R.* Design for reliability reshapes designing // ED. 1991. № 1. P. 121-132.
10. *Царев А.Г.* Контроль надежности технических систем на основе теории распознавания образов // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. В 2-х томах. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2008. Т.2. С. 63-64.
11. *Гонсалес Г.К.* Принципы распознавания образов // Пер. с англ. И.Е. Гуревича: Под ред. Ю.И. Журавлева. – М.: Мир, 1978. 414 с.

05.13.01

Ю.Н. Кондрашов д-р техн. наук

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНОВЫХ РЕШЕНИЙ НА СЕТЕВЫХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ ЗАДАЧ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

В статье рассматривается развитие алгоритма планирования проектов на сетевых моделях для задач большой размерности. Алгоритм планирования, сводящий задачу оптимизации плана на сетевой модели к общей задаче нелинейного программирования с возможностью гибкого формирования целевой функции и ограничений, дополнен методом итеративного агрегирования для задач нелинейного программирования, обеспечивающим повышение эффективности решения задач большой размерности.

Ключевые слова: *сетевой график, оптимизация плана, итеративное агрегирование.*

В работе [1] рассматривался оригинальный алгоритм планирования проектов на сетевых моделях. Алгоритм базируется на введенных коэффициентах интенсивности использования ресурсов при выполнении работ проектов.

Значения коэффициента интенсивности определяют отношение количества единиц использования ресурса к его среднему значению при выполнении работы. Коэффициент интенсивности является безразмерным.

Имеет место обратная зависимость времени выполнения работы от коэффициента интенсивности. При увеличении значения коэффициента интенсивности выполнения работы по r -ому ресурсу увеличивается количество единиц используемого работой ресурса и время выполнения работы по данному ресурсу уменьшается. При уменьшении значения коэффициента интенсивности выполнения работы время выполнения работы по данному ресурсу уменьшается количество единиц используемого работой ресурса и время выполнения работы по данному ресурсу увеличивается.

Введенный коэффициент интенсивности является хорошо интерпретируемым, что обеспечивает удобство его использования при решении задач планирования проектов.

Ресурсные ограничения для задач планирования проектов для каждого вида ресурса r задаются значениями $\Phi_{rs}(r \in R, s \in S)$, где s – этап планируемого периода. Этапы планируемого периода $\tau_s = [t_{s-1}, t_s], s = 1, 2, \dots, S, t_0 = 0, t_s = T$ определяются периодом планирования $[0, T]$ и разбивают его на S отрезков. Длина отрезков определяется прикладной задачей планирования. Для рассматриваемых сетевых графиков разработки программного обеспечения длина отрезка равнялась одной неделе (в системе MS Project, в которой тестировались рассматриваемые алгоритмы оптимизации, поддерживается такая длина отрезка планируемого периода для задания ресурсные ограничения). Функция $\Phi_{rs}(r \in R, s \in S)$ является кусочно-постоянной.

Ограничения задачи планирования имеют вид

$$\sum_{n \in N} \sum_{\{i,j\} \in U_n} \varphi_n^r(i,j)_{cp} y_n^r(i,j) \leq \Phi_{rs} \quad r \in R, s \in S, n \in N \quad (1)$$

где $n \in N$ – множество проектов, выполняемых в период $[0, T]$ и которые могут находиться на разных стадиях выполнения, $\varphi_n^r(i,j)_{cp}$ – количество единиц используемого ресурса, $y_n^r(i,j)$ – коэффициент интенсивности выполнения работы по r -ому ресурсу.

Конкретные значения функций Φ_{rs} для различных видов ресурсов могут варьироваться при решении задач планирования, отражая различные стратегии развития ресурсов на предприятии в целом или его подразделении.

При задании критерия $F(\bar{y}) \rightarrow \min(\max)$ задача планирования на рассматриваемой ресурсной сетевой модели может сводиться к задаче нелинейного программирования, для которой могут быть использованы стандартные методы и алгоритмы оптимизации.

Используемые критерии можно классифицировать на временные и ресурсные. К временным относятся критерии минимизации времени выполнения проектов и минимизации отклонения сроков выполнения проектов от заданных. К ресурсным относятся критерии минимизации отклонения функции потребления ресурса от заданных ресурсных ограничений.

При выборе критериев могут варьироваться наборы проектов и их приоритеты, директивные сроки выполнения проектов, ресурсные ограничения и их подмножества, включаемые в критерии, и ограничения. При этом обеспечивается гибкость постановки задач планирования, их адекватность конкретной плановой ситуации. Это выгодно отличает рассматриваемый алгоритм планирования от существующих, в которых решаются частные задачи планирования на основе приоритетов или оптимизации зависимости «стоимость – время».

Рассматриваемый алгоритм планирования был реализован в виде надстройки известной системы MS Project, апробирован для решения реальных задач планирования проектов по разработке программного обеспечения и показал свою эффективность. В частности, планируемое время выполнения проектов в рассмотренных примерах уменьшилось до 13%, по сравнению со стандартным алгоритмом планирования в системе MS Project. Для оптимизации использовался метод нелинейного программирования Пауэлла.

Количество аргументов при решении задачи оптимизации плана определяется количеством проектов, входящих в них работ и видов используемых в работах ресурсов. Для используемых при оптимизации реальных проектов по разработке программного обеспечения количество проектов варьировалось от 2 до 8, количество работ в проектах от 47 до 90, количество видов используемых ресурсов от 5 до 9. Количество аргументов варьируется при этом от 97 до 279. Т.е. задача оптимизации является задачей большой размерности, что приводит к значительному увеличению времени ее решения.

Возможным путем решения проблемы увеличения времени оптимизации плана на ресурсной сетевой модели может являться использование методов итеративного агрегирования [2].

Общая схема итеративного агрегирования для решения нелинейных задач оптимизации состоит в следующем. Имеется задача вида

$$f(x) \rightarrow \max \tag{2}$$

$$g_s(x) \geq 0 \quad s \in S \tag{3}$$

В [3] предлагается общая схема решения, в которой в соответствии со структурой агрегирования переменных вектор переменных \bar{x} разбивается на V подвекторов $\bar{x} = (\bar{x}^1, \bar{x}^2, \dots, \bar{x}^V)$, вектор двойственных переменных \bar{y} , соответствующий ограничениям (3), разбиваются на M подвекторов $\bar{y} = (\bar{y}^1, \bar{y}^2, \dots, \bar{y}^M)$, определяющие структуру агрегирования ограничения. Таким образом, агрегируются переменные и ограничения, входящие в соответствующие подвекторы.

Для получения агрегированных аргументов вводится V векторов $\bar{\varphi}_v^\sigma, v = \overline{1, V}$ где σ - индекс итерации, которые будут векторами направления изменений переменных при решении агрегированной задачи (согласование блочных задач). Векторы $\bar{\varphi}_v^\sigma$, берутся следующим образом:

$$\bar{\varphi}_v^\sigma = (0, 0, \dots, 0, x_k^{\sigma-1}, x_{k+1}^{\sigma-1}, \dots, x_{k+l}^{\sigma-1}, 0, \dots, 0) \tag{4}$$

где $x_k^{\sigma-1}, x_{k+1}^{\sigma-1}, \dots, x_{k+l}^{\sigma-1}$ группа переменных блочной модели, агрегируемых в v - ую переменную. В агрегированную задачу делается подстановка

$$\bar{x} = \bar{x}^{\sigma-1} + \sum_{v=1}^V z_v \bar{\varphi}_v^\sigma \tag{5}$$

где z_v является переменной агрегированной задачи. Т.е. для группы агрегируемых переменных ищется одно и то же направление изменения при решении агрегированной задачи (корректируются решения задач блоков). При этом количество аргументов

агрегированной задачи меньше, чем в подробной. При $z_v = 0$ $x_k^\sigma = x_k^{\sigma-1}$, т.е. решения подробной и агрегируемой задач на двух последующих итерациях совпадают. С учетом (13), формула (14) принимает вид

$$\bar{x} = \sum_{v=1}^V (z_v + 1) \bar{\varphi}_v^\sigma \quad (6)$$

Аналогично строится процесс изменения вектора двойственных переменных \bar{y} который разбивается на M подвекторов. При этом берутся векторы

$$\bar{\psi}_m^\sigma = (0, 0, \dots, 0, y_{l_1}^{\sigma-1}, y_{l_1+1}^{\sigma-1}, \dots, y_{l_1+l_2}^{\sigma-1}, 0, \dots, 0) \quad m = \overline{1, M} \quad (7)$$

и для двойственных переменных получается формула аналогичная (6)

$$\bar{y} = \sum_{m=1}^M (\lambda_m + 1) \bar{\psi}_m^\sigma \quad (8)$$

где λ_m определяют направления изменения групп двойственных переменных агрегируемых ограничений при решении агрегированной задачи.

Итерационный процесс строится следующим образом. Пусть после $\sigma - 1$ - ой итерации определен полный вектор $\bar{x}^{\sigma-1}$ и полный вектор оценок ограничений $\bar{y}^{\sigma-1}$. После подстановки (6) и (8) решается агрегированная задача

$$f(\bar{z}) + \sum_{s=1}^S y_s^{\sigma-1} g_s(\bar{z}) - c \sum_{v=1}^V z_v^2 \rightarrow \max \quad (9)$$

при агрегированных ограничениях

$$\sum_{s \in S_m} y_s^{\sigma-1} g_s(z) \geq 0 \quad m = \overline{1, M} \quad (10)$$

В результате её решения находится $z_j (j = \overline{1, N})$ и производится дезагрегирование полученного решения, которое дает исходную точку для решения блочных задач

$$\widehat{x}_n^\sigma = x_n^{\sigma-1} + z_j x_n^{\sigma-1} \quad (11)$$

Оценки агрегированных ограничений λ_m^σ могут быть определены по формуле

$$\lambda_k^\sigma = [\lambda_k^{\sigma-1} + \alpha \sum_{s \in S_k} y_s^{\sigma-1} g_i(z)]^+ \quad (12)$$

на основе которых по формуле (8) определяются исходные для решения блочных задач оценки ограничений.

Блочные задачи решаются следующим образом. Каждой блочной задаче соответствует подвектор переменных $\bar{x}_k, k \in K_j$. Если подвекторы \bar{x}_k и \bar{x}_v (определяет структуру агрегирования) совпадают, то решаемая задача является блочной. В противном случае блочность отсутствует. Т.е. данный метод может использоваться для решения задач оптимизации большой размерности, в которых отсутствует блочность. Однако практика показывает, что наличие блочности повышает эффективность использования метода итеративного агрегирования.

Для каждого подвектора $\bar{x}_k, k \in K_j$, в j - том блоке решается следующая задача

$$2f(\bar{x}^\sigma, \dots, \bar{x}_{k-1}^\sigma, \bar{x}_k, \bar{x}_{k+1}^\sigma, \dots, \bar{x}_j^\sigma) - c \sum_{n \in K} (x_n - \widehat{x}_n^\sigma)^2 \rightarrow \max \quad k \in K_j \quad (13)$$

при ограничениях

$$g_i(\bar{x}_1^\sigma, \dots, \bar{x}_{k-1}^\sigma, \bar{x}_k, \bar{x}_{k+1}^\sigma, \dots, \bar{x}_j^\sigma) \geq 0 \quad s = \overline{1, S} \quad (14)$$

Т.е. решается J задач оптимизации, в каждой j -ой из которых определяются значения элементов подвектора $\bar{x}_k, k \in K_j$ при постоянных значениях остальных элементов вектора, полученных при дезагрегировании решения агрегированной задачи. Совокупность локальных задач дает значения всех компонент вектора $\bar{x}_k, k \in K_j$.

По результатам решения всех локальных задач определяются оценки ограничений, вычисляемые по формуле

$$y_s^\sigma = [\hat{y}_s^\sigma - \alpha g_s(x)]^+ \quad s = \overline{1, S} \quad (15)$$

и итерация повторяется.

Итерационный процесс заканчивается, если результаты решения задач в блоках на двух последовательных итерациях совпадают с некоторой заданной точностью $|x_k^\sigma - x_k^{\sigma-1}| \leq \varepsilon$, где $k \in K$, ε - заданная точность решения). Доказывается, что в пределе такого итерационного процесса получается оптимальное решение задачи (2) - (3). На основе этой общей схемы могут строиться различные прикладные задачи нелинейной оптимизации большой размерности.

Применительно к рассмотренной задаче оптимизации планов на сетевой модели с использованием в качестве аргументов коэффициентов интенсивности структура блочных и агрегированной задачи определяется на основе сетевой модели. Сетевой график проекта имеет иерархию работ, в которой выделяются «суммарная задача» (этот термин используется в системе MS Project) и детализирующий ее фрагмент сетевого графика. Такая иерархическая структура является основой для построения агрегированной и блочных задач при реализации алгоритма итеративного агрегирования.

Блочные задачи решаются для детализирующих фрагментов сетевого графика, а агрегированная задача решается на сетевом графике «суммарных задач». Согласование временных связей детализирующих фрагментов задается дополнительными ограничениями (согласующая информация T_i и T_j – время начала и окончания «суммарной задачи», полученные при решении агрегированной задачи) и обеспечивает целостное представление исходного сетевого графика.

Размерность блочных задач меньше за счет меньшего количества аргументов (рассматривается подмножество аргументов $y_n^r(i, j)$, относящихся к работам, детализирующим одну «суммарную задачу»).

Для формирования аргументов агрегированной задачи переменные исходной задачи планирования разбиваются на блоки $\bar{y} = (\bar{y}^1, \bar{y}^2, \dots, \bar{y}^w)$, соответствующие структуре агрегирования (количество аргументов агрегированной задачи равно W). Структура агрегирования определяется «суммарными задачами».

Вводится W векторов $\bar{\varphi}_w^\sigma, w = \overline{1, W}$, где σ - индекс итерации, которые будут векторами направления изменения коэффициентов интенсивности при решении агрегированной задачи.

Векторы $\bar{\varphi}_w^\sigma$ берутся следующим образом

$$\bar{\varphi}_w^\sigma = (0, \dots, 0, y_{nir}^{\sigma-1}, \dots, y_{njp}^{\sigma-1}, \dots, y_{nkl}^{\sigma-1}, 0, \dots, 0) \quad (16)$$

Ненулевые элементы каждого w - го вектора соответствуют аргументам подробной задачи, агрегируемым в w - ую переменную. $(y_{nir}^{\sigma-1}, \dots, y_{njp}^{\sigma-1}, \dots, y_{nkl}^{\sigma-1})$ - группа переменных подробной модели, агрегируемых в w – ую переменную.

В соответствии с общей схемой агрегирования нелинейных задач в агрегированную задачу делается подстановка

$$\bar{y} = \bar{y}^{\sigma-1} + \sum_{w=1}^W z_w \bar{\varphi}_w^\sigma \quad (17)$$

где z_w является переменной агрегированной задачи.

Это означает, что если подмножество операций сетевого графика агрегируются в одну «суммарную задачу», то для всех коэффициентов интенсивности работ, детализирующих данную «суммарную задачу», ищется общее корректирующее воздействие при решении агрегированной задачи.

Агрегированная задача имеет вид

$$f(Z_w) - c \sum_{v=1}^V z_v^2 \rightarrow \max(\min) \quad (18)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{\{i, j\} \in U_n} \varphi_n^r(i, j)_{cp} z_w \leq \Phi_{rs} \quad r \in R, s \in S, n \in N \quad (19)$$

В результате решения агрегированной задачи определяются значения аргументов $Z_w^\sigma, w = \overline{1, W}$, и вычисляются исходные значения аргументов подробных задач

$$y_n^r(i, j) = \sum_{v=1}^V (Z_w^\sigma + 1) \bar{\varphi}_v^\sigma \quad n \in N, \{i, j\} \in U_n \quad (20)$$

Результаты решения агрегированной задачи, включая согласующую информацию T_{iw} и T_{jw} по каждой суммарной задаче, используются для решения блочных задач.

Блочные задачи (w -ый блок) имеют вид

$$f(y_n^r(i, j)) \rightarrow \max(\min) \{i, j\} \in U_{nw} \quad (21)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{\{i, j\} \in U_{nw}} \varphi_n^r(i, j)_{cp} y_n^r(i, j) \leq \Phi_{rs} \quad r \in R, s \in S, n \in N \quad (22)$$

При $z_w = 0$, $y_n^{r\sigma}(i, j) = y_n^{r\sigma-1}(i, j)$ и решение подробных и агрегированной задач на двух последующих итерациях совпадают. Что означает получение оптимального решения.

Рассмотренная схема итеративного агрегирования для оптимизации плановых решений на сетевых моделях была реализована. Проведенные эксперименты для реальных проектов разработки программного обеспечения и их сравнение с приведенными выше результатами прямой оптимизации показали сходимость итерационной схемы решения к оптимальному решению с одновременным уменьшением (до 40 %) времени оптимизации.

Список литературы

1. *Кондрашов Ю.Н., Чащин М.О.* / Алгоритм планирования проектов / Вестник Финансового университета. – 2016. №4(94) – С. 78-84.
2. Итеративное агрегирование и его применение в планировании / под ред. Л.М. Дудкина. – М.: Экономика, 1979.
3. Теория и практика использования методов агрегирования в планировании и управлении: Материалы совещания АН Армянской ССР. Ереван, 1983.

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

05.13.06

В.А. Егоров канд. техн. наук, Е.В. Плотников

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru, borodobjob@gmail.com

**МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ТРЕХФАЗНЫМ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ**

Описаны функциональная схема и принцип реализации широтно-импульсной модуляции автономного инвертора с использованием однокристального микроконтроллера.

Ключевые слова: Микроконтроллер, широтно-импульсная модуляция, автономный инвертор, модулирующая функция, асинхронный двигатель, таймер, силовой драйвер.

Автономные инверторы в сочетании с асинхронным двигателем являются основным типом промышленного электропривода.

Работа посвящена разработке системы управления силовым драйвером автономного инвертора на основе однокристального микроконтроллера. На рисунке 1 представлена функциональная схема автономного инвертора. Инвертор, работающий на статорную обмотку асинхронного короткозамкнутого двигателя включает в себя: цепь ограничения тока заряда звена постоянного тока (ЦЗ ЗПТ), выпрямитель (В), звено постоянного тока (ЗПТ), схему определения завершения заряда звена постоянного тока (СОЗ ЗПТ), микроконтроллер (МК), силовой драйвер (СД).

Цепь ограничения тока заряда, представляет собой RC цепочку, включаемую последовательно с ёмкостью звена постоянного тока, для ограничения зарядного тока этой ёмкости. Когда напряжение на ёмкости звена постоянного тока близко к номинальному, срабатывает схема определения завершения заряда (СОЗ ЗПТ), шунтирующая токоограничивающую RC цепочку цепи ограничения заряда ёмкости звена постоянного тока (ЦЗ ЗПТ). Этот же сигнал сообщает микроконтроллеру, о завершении заряда звена постоянного тока. После чего, микроконтроллер переходит к генерации ШИМ-модулированного синусоидального сигнала на ключи силового драйвера.

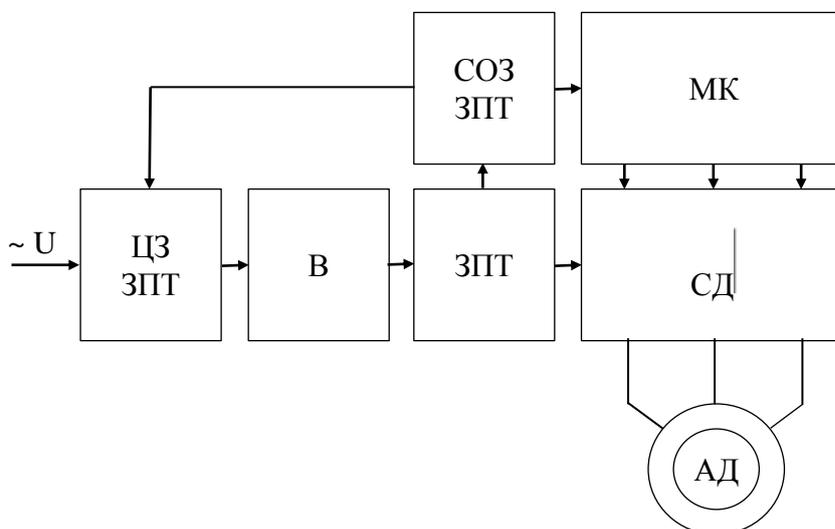


Рис. 1 – Функциональная схема автономного инвертора

Для реализации проекта выбран микроконтроллер STM32F407VG. Он имеет два специализированных таймера TIM1 и TIM8, предназначенных для управления силовыми ключами 3-х фазного моста автономного инвертора напряжения.

Для получения 3-х фазного ШИМ-модулированного синусоидального сигнала использованы таймеры TIM1 и TIM6. Значения точек модулирующих функций вычисляются в прерывании от таймера TIM6 и выводятся в регистры сравнения CCR соответствующего канала таймера TIM1. Это позволяет получить на выходе таймера 3-х фазный ШИМ-модулированный синусоидальный сигнал, который поступает на входы силового драйвера и формирует трёхфазное синусоидальное напряжение на выходе инвертора.

Необходимая частота прерываний от таймера TIM6 определяется из соотношения

$$f_{TIM6} = f_{max} \cdot N,$$

где $f_{max}=50$ Гц - частота поля статора при скорости холостого хода 1500 об/мин и числе пар полюсов машины $p=2$ ($1500/60=25$ об/с, $25 \cdot p=50$ Гц); $N=200$ – число расчетных точек модулирующей функции за период.

Тогда

$$f_{TIM6} = 50 \cdot 200 = 10000 \text{ (Гц)}.$$

Для реализации требуемой частоты прерываний, таймер TIM6 может быть настроен следующим образом: $arrb1tc=84$ MHz – частота тактирования таймера; $N=41+1$ – коэффициент делителя; $ARR=199+1$ – диапазон счёта таймера. Тогда

$$f_{TIM6} = \frac{f_{arb1tc}}{N \cdot ARR} = \frac{84000000}{42 \cdot 200} = 10000 \text{ (Гц)}.$$

Таймер TIM1 используется для управления силовыми ключами. Линии PE9, PE11 и PE13 микроконтроллера, определены как выходы фаз А, В и С таймера.

Таймер TIM1 имеет следующие настройки: $arrb2tc=168$ MHz – частота тактирования таймера; Center Aligned mode2 – режим работы; PWM Generation Cannel 1,2,3 / CN Polarity – High - установки прямого ШИМ.

Диапазон счёта таймера TIM1 равен числу дискрет, приходящихся на удвоенную максимальную амплитуду модулирующей функции. Так как амплитуда выходного напряжения инвертора прямо пропорциональна частоте этого напряжения, можно определить диапазон счёта таймера через дискретность изменения частоты. Пусть $f_{max}=50$ Гц и шаг изменения частоты $df=0.005$ Гц, тогда диапазон счёта таймера TIM1:

$$ARR = 2 \frac{f_{max}}{df} = 2 \frac{50}{0.005} = 20000 \text{ (д. е.)}$$

С другой стороны, диапазон счёта таймера равен:

$$ARR = \frac{f_{arb2tc}}{2 \cdot f_{шим} \cdot N},$$

где $f_{шим} = 2000$ Гц – частота широтно-импульсной модуляции.

Последние два выражения позволяют определить коэффициент делителя таймера TIM1:

$$N = \frac{f_{arb2tc}}{2 \cdot f_{шим} \cdot ARR}$$

Тогда

$$N = \frac{168000000}{2 \cdot 2000 \cdot 20000} = 2.1 \approx 1 + 1.$$

Из-за того, что ближайший реализуемый коэффициент делителя $N = 2$, диапазон счёта таймера TIM1 $ARR=21000$ (д.е.). В этом случае, смещение модулирующей функции составит $ARR/2 = 10500$ (д.е.).

```

161 void TIM6_DAC_IRQHandler(void)
162 {
163     HAL_TIM_IRQHandler(&htim6);
164     /* USER CODE BEGIN TIM6_DAC_IRQn 1 */
165     //-----
166     //Амплитуда синуса A=ARR*w/(2*fmax*pp*2*PI)=(21000/(2*25*2*2*3.1415))*w=
167     //==33.42253804929802*w
168     //-----
169     f=(i*50/4095);
170     w=2*PI*f; dw=2*PI/3; //f-частота синуса, dw-фазовый сдвиг 120 градусов
171     A=33.42253804929802f*w;
172     yA=10500+A*arm_sin_f32(w*t); //вычисление значений модулирующих функций
173     yB=10500+A*arm_sin_f32(w*t-dw);
174     yC=10500+A*arm_sin_f32(w*t+dw);
175     t+=0.0001f; //dt=1/fT6=1/10000=0.0001с - приращение времени
176     if (w*t>=2*PI) t=0; //если угол достигает 2*PI, время t обнуляется
177     y1A=(uint16_t)yA; //преобразование из вещественного в целое
178     y1B=(uint16_t)yB;
179     y1C=(uint16_t)yC;
180
181     TIM1->CCR1=y1A; //задание скважности ШИМ
182     TIM1->CCR2=y1B;
183     TIM1->CCR3=y1C;
184     /* USER CODE END TIM6_DAC_IRQn 1 */
185 }
186
    
```

Рис. 2 – Фрагмент программы, генерирующей 3-х фазный ШИМ-модулированный синусоидальный сигнал

Получить линейную зависимость амплитуды модулирующей функции “А” от угловой частоты поля статора машины “w” можно из следующего выражения:

$$A = \frac{ARR}{2 \cdot f_{max} \cdot pp \cdot 2 \cdot PI} \cdot w = \frac{21000}{2 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3.1415} \cdot w == 33,42253804929802 \cdot w$$

Потенциометр с линии PA1 задаёт через переменную i (ADC1.1) частоту синусоиды f по формуле f=50*i/4095.

Фрагмент программы, генерирующей 3-х фазный ШИМ-модулированный синусоидальный сигнал представлен на рисунке 2.

Для проверки работоспособности 3-х фазного ШИМ-модулятора синусоидального сигнала, линии микроконтроллера PE9 PE11 PE13 были подключены к входам осциллографа, через RC фильтры первого порядка, с частотой среза 120Гц. Сигналы фаз А и В показаны на рисунке 3.



Рис. 3 – Сигналы фаз А и В 3-х фазного ШИМ-модулятора

- а) - модулирующие функции фаз А и В, при частоте выходного напряжения инвертора 50 Гц;
- б) - модулирующие функции фаз А и В, при частоте выходного напряжения инвертора 25 Гц

Из рисунка 3 следует, что периоды синусоид составляют 20 и 40 (мс) соответственно. Следовательно, частота выходного напряжения инвертора в первом случае равна 50 Гц (рисунок 3а), а во втором - 25 Гц (рисунок 3б).

Список литературы

1. STM32F405xx STM32F407xx Datasheet // ST.COM. URL: [http:// www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f407vg.pdf](http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f407vg.pdf) (дата обращения: 12.01.2020).
2. RM0090: Reference manual // ST.COM. URL: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/3d/6d/5a/66/b4/99/40/d4/DM00031020.pdf/files/DM00031020.pdf/jcr:content/translations/en.DM00031020.pdf (дата обращения: 15.01.2020).
3. UM1725: Description of STM32F4 HAL and LL drivers // ST.COM. URL: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/2f/71/ba/b8/75/54/47/cf/DM00105879.pdf/files/DM00105879.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105879.pdf (дата обращения: 05.02.2020).

05.13.06

В.А. Егоров канд. техн. наук, Е.В. Плотников

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru, borodobjob@gmail.com

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Описаны алгоритм и программная реализация блока формирования модулирующих функций автономного инвертора с пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией. Приведены результаты тестирования разработанного блока управления.

Ключевые слова: *Микроконтроллер, пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция, автономный инвертор, модулирующая функция, таймер.*

Метод пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции при управлении автономным инвертором, предназначенным для систем автоматизированного электропривода, в настоящее время является преобладающим. Именно с него, по мнению авторов, следует начинать изучение систем векторного управления электроприводами. Однако, обзор отечественной и зарубежной литературы по данному вопросу показал, что каждый источник имеет недостатки, мешающие успешному освоению материала. Основные из них:

- неполное описание метода;
- отсутствие универсальной системы условных обозначений;
- неточности и опечатки [1], [2], [3], [4].

В связи с вышеизложенным, в работе выполнена компиляция известных авторам материалов, на основании которой, приводится алгоритм метода пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции, проверенный математическим моделированием и реализацией экспериментального макета системы управления силовым драйвером автономного инвертора на основе однокристалльного микроконтроллера STM32F407VG.

Алгоритм метода пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции (треугольный алгоритм).

1. Преобразование координат ($ABC - \alpha\beta$):

$$U_{\alpha} = U_A;$$

$$U_{\beta} = (U_A + 2U_B)/\sqrt{3}.$$

2. Выбор сектора n :

$$\theta = \operatorname{atan}\left(\frac{U_{\beta}}{U_{\alpha}}\right), \quad \theta_1 = \theta \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Если	$0^{\circ} \leq \theta_1 < 60^{\circ},$	$n = 1;$
	$60^{\circ} \leq \theta_1 < 120^{\circ},$	$n = 2;$
	$120^{\circ} \leq \theta_1 < 180^{\circ},$	$n = 3;$
	$-180^{\circ} \leq \theta_1 < -120^{\circ},$	$n = 4;$
	$-120^{\circ} \leq \theta_1 < -60^{\circ},$	$n = 5;$
	$-60^{\circ} \leq \theta_1 < 0^{\circ},$	$n = 6,$

где θ – угол поворота вектора.

3. Определение интервалов включения ключей T1, T2, T0:

$$T_r = \frac{\sqrt{3} \cdot T_c \cdot \sqrt{U_{\alpha}^2 + U_{\beta}^2}}{ARR_2},$$

где $T_{ц}$ – период широтно-импульсной модуляции; ARR_2 – половина диапазона счета таймера TIM1.

$$T_{10} = T_r \cdot \left(\sin\left(\frac{\pi n}{3}\right) \cdot \cos(\theta) - \cos\left(\frac{\pi n}{3}\right) \cdot \sin(\theta) \right);$$

$$T_{20} = T_r \cdot \left(-\sin\left(\frac{\pi(n-1)}{3}\right) \cdot \cos(\theta) + \cos\left(\frac{\pi(n-1)}{3}\right) \cdot \sin(\theta) \right).$$

Если $n = 1, 3, 5$, то $T_1 = T_{10}$; $T_2 = T_{20}$; $T_0 = T_{ц} - (T_1 + T_2)$.

Если $n = 2, 4, 6$, то $T_1 = T_{20}$; $T_2 = T_{10}$; $T_0 = T_{ц} - (T_1 + T_2)$.

4. Определение интервалов включения ключей, с учетом ограничения на минимальную ширину импульса управления фазой:

$$t_{оп1} = 0.5 \cdot T_0;$$

$$t_{оп2} = t_{оп1} + T_1;$$

$$t_{оп3} = t_{оп2} + T_2.$$

Если

$n = 1$, то $t_a = t_{оп1}$, $t_b = t_{оп2}$, $t_c = t_{оп3}$;

$n = 2$, то $t_a = t_{оп2}$, $t_b = t_{оп1}$, $t_c = t_{оп3}$;

$n = 3$, то $t_a = t_{оп3}$, $t_b = t_{оп1}$, $t_c = t_{оп2}$;

$n = 4$, то $t_a = t_{оп3}$, $t_b = t_{оп2}$, $t_c = t_{оп1}$;

$n = 5$, то $t_a = t_{оп2}$, $t_b = t_{оп3}$, $t_c = t_{оп1}$;

$n = 6$, то $t_a = t_{оп1}$, $t_b = t_{оп3}$, $t_c = t_{оп2}$.

5. Получение модулирующих функций:

$$U_1 = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{t_a}{T_{ц}} - 0.5 \right) + 1 \right) \cdot ARR_2;$$

$$U_2 = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{t_b}{T_{ц}} - 0.5 \right) + 1 \right) \cdot ARR_2;$$

$$U_3 = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{t_c}{T_{ц}} - 0.5 \right) + 1 \right) \cdot ARR_2.$$

Алгоритм имеет ряд особенностей. Треугольный опорный сигнал формируется счётчиком таймера TIM1. Диапазон счёта таймера $ARR = 21000$ дискретных единицы (д.е.). Поэтому:

- в уравнения алгоритма введено смещение $ARR_2 = 10500$ (д.е.), являющееся «нулём» опорного сигнала;

- максимальному управляющему сигналу в 10500 (д.е.) соответствует линейное напряжение на выходе инвертора с амплитудным значением $220\sqrt{2}$ (В).

Основой экспериментальной установки является однокристалльный микроконтроллера STM32F407VG. В прерывании от таймера TIM6 (рисунок 1) реализован алгоритм метода пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции. Таймер TIM1 используется для управления силовыми ключами. Линии PE9, PE11 и PE13 микроконтроллера, определены как выходы фаз А, В и С таймера.

Настройки таймера TIM6: $farb1tc = 84\text{MHz}$ – частота тактирования таймера; $N = 41 + 1$ – коэффициент делителя; $ARR = 199 + 1$ – диапазон счёта таймера.

Настройки таймера TIM1: $farb2tc = 168\text{MHz}$ – частота тактирования таймера; $N = 1 + 1$ – коэффициент делителя; $ARR = 20999 + 1$ – диапазон счёта таймера TIM1; Center Aligned mode2 – режим работы; PWM Generation Cannel 1,2,3 / CN Polarity – High - установки прямого ШИМ.

Частота широтно-импульсной модуляции $f_s = 2000$ (Гц). Смещение модулирующей функции $ARR/2 = 10500$ (д.е.).

```

171 void TIM6_DAC_IRQHandler(void)
172 {
173     HAL_TIM_IRQHandler(&htim6);
174     /* USER CODE BEGIN TIM6_DAC_IRQHandler 1 */
175     //-----
176     //Амплитуда модулирующей функции
177     //A=ARR*w/(2*fmax*rp*2*PI)=(21000/(2*25*2*2*3.1415))*w=
178     //=33.42253804929802*w
179     //-----
180     f=(i*50/4095);
181     //f-частота синуса, dw-фазовый сдвиг 120 градусов
182     w=2*PI*f; dw=2*PI/3;
183     A=33.42253804929802f*w;
184     //вычисление значений опорных функций
185     yA=A*arm_sin_f32(w*t);
186     yB=A*arm_sin_f32(w*t-dw);
187     //yC=A*arm_sin_f32(w*t+dw);
188     //dt=1/fT6=1/10000=0.0001с - приращение времени
189     t+=0.0001f;
190     //если угол достигает 2*PI, время t обнуляется
191     if (w*t>=2*PI) t=0;
192     //Преобразование координат ABC->xy
193     Ux=yA;
194     Uy=(yA+2*yB)*0.57735026918963f;
195     //Выбор сектора n
196     teta=atan2f(Uy,Ux);
197     teta_dg=teta*180/PI;
198     if((teta_dg>=0)&&(teta_dg<60)) n=1;
199     if((teta_dg>=60)&&(teta_dg<120)) n=2;
200     if((teta_dg>=120)&&(teta_dg<180)) n=3;
201     if((teta_dg>=-180)&&(teta_dg<-120)) n=4;
202     if((teta_dg>=-120)&&(teta_dg<-60)) n=5;
203     if((teta_dg>=-60)&&(teta_dg<0)) n=6;
204     //Определение интервалов включения ключей T1, T2, T0
205     Tr=1.73205080756888f*Ts*sqrtf(Ux*Ux+Uy*Uy)/ARR_2;
206     T01=Tr*(arm_sin_f32(n*PI/3)*arm_cos_f32(teta)-
207     arm_cos_f32(n*PI/3)*arm_sin_f32(teta));
208     T02=Tr*(-arm_cos_f32(teta)*arm_sin_f32((n-1)*PI/3)+
209     arm_sin_f32(teta)*arm_cos_f32((n-1)*PI/3));
210     if((n==1)|| (n==3)|| (n==5)) {T1=T01; T2=T02; T0=Ts-(T1+T2);}
211     if((n==2)|| (n==4)|| (n==6)) {T1=T02; T2=T01; T0=Ts-(T1+T2);}
212     //Определение интервалов включения ключей, с учётом ограничения
213     //на минимальную ширину импульса управления фазой
214     ton1=0.5f*T0;
215     ton2=ton1+T1;
216     ton3=ton2+T2;
217     if(n==1) {ta=ton1; tb=ton2; tc=ton3;}
218     if(n==2) {ta=ton2; tb=ton1; tc=ton3;}
219     if(n==3) {ta=ton3; tb=ton1; tc=ton2;}
220     if(n==4) {ta=ton3; tb=ton2; tc=ton1;}
221     if(n==5) {ta=ton2; tb=ton3; tc=ton1;}
222     if(n==6) {ta=ton1; tb=ton3; tc=ton2;}
223     //Вычисление значений модулирующих функций
224     //ARR_2-смещение модулирующей функции равное
225     //диапазону счёта таймера TIM1 делённому на 2
226     U1=((ta/Ts-0.5f)*1.15470053837925f+1)*ARR_2;
227     U2=((tb/Ts-0.5f)*1.15470053837925f+1)*ARR_2;
228     U3=((tc/Ts-0.5f)*1.15470053837925f+1)*ARR_2;

```

```

229 //преобразование из вещественного в целое
230 y1A=(uint16_t)U1;
231 y1B=(uint16_t)U2;
232 y1C=(uint16_t)U3;
233 //задание скважности ШИМ
234 TIM1->CCR1=y1A;
235 TIM1->CCR2=y1B;
236 TIM1->CCR3=y1C;
237 /* USER CODE END TIM6_DAC_IRQn 1 */
238 }
239

```

Рис. 1 – Программная реализация метода пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции в прерывании TIM6

Для проверки работоспособности 3-х фазного ШИМ-модулятора, линии микроконтроллера PE9 PE11 PE13 были подключены ко входам осциллографа, через RC фильтры первого порядка, с частотой среза 120Гц. Сигналы фаз А и В показаны на рисунке 2.



Рис. 2 – Сигналы фаз А и В 3-х фазного ШИМ-модулятора

- а) – модулирующие функции фаз А и В, при частоте вращения поля 50 Гц;
 б) - модулирующие функции фаз А и В, при частоте вращения поля 25 Гц

Из рисунка 2а видно, что период модулирующей функции составляет 10 клеток по 2мс. Что соответствует частоте 50 Гц. На рисунке 2б период модулирующей функции составляет 8 клеток по 5мс. Что соответствует частоте 25 Гц. Амплитуда модулирующей функции на частоте 50 Гц в два раза больше амплитуды – на частоте 25 Гц. Искажение формы модулирующей функции на частоте 50 Гц вызвано наличием в измерительном канале низкочастотного фильтра с полосой пропускания 120 Гц (рисунок 2а). При снижении частоты модулирующей функции до 25 Гц искажение формы функции отсутствует (рисунок 2б).

Список литературы

1. *Виноградов А.Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока // Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. – 2008. – С. 298.
2. Space vector PWM inverter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.coursehero.com/file/31050995/SpaceVector-PWM-Inverterpdf> (дата обращения: 01.03.2020)
3. *Vinoth K.K., Prawin A.M., Joseph P.J., Suresh S.K.* Simulation and comparison of spwm and svpwm control for three phase inverter // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2010. – С. 7; URL: http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2010/jeas_0710_362.pdf (дата обращения: 01.03.2020)
4. *Devisree S., Jisha K.P.* Modelling and simulation of svpwm inverter fed permanent magnet brushless dc motor drive // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. – 2013. – С. 30; URL: https://www.ijareeie.com/upload/may/30_MODELLING.pdf (дата обращения: 01.03.2020)

05.13.06

¹К.В. Ключкова, ²Л.А. Симонова д-р техн. наук,
³Е.Н. Сосенушкин д-р техн. наук, ⁴Л.Р. Юсупов

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
¹кафедра машиностроения, kvsimonova@mail.ru
²кафедра автоматизации и управления
³ФГБУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
кафедра «Системы пластического деформирования»,
⁴Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Инженерно-экономический колледж

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ СВОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ

В статье представлена работа автоматизированной системы интеллектуальной поддержки принятия решений, обеспечивающая требуемые свойства изделий из композиционных материалов, в зависимости от условий их эксплуатации. Проверка работы системы осуществляется на примере моделирования свойств изделия из чугуна с вермикулярным графитом «Картер делителя передач». Система основана на разработанной базе правил, реализованной на языке CLIPS, каскадной нейронной сети, реализованной на языке C++ и базе знаний. Результаты тестирования показали, что система способна давать оценку результатам моделирования и вносить корректировки для обеспечения необходимых свойств изделий из композиционных материалов, обусловленных условиями эксплуатации.

Ключевые слова: автоматизированная система, интеллектуальная поддержка принятия решений, база правил, база знаний, каскадная нейронная сеть.

В процессе разработки были проанализированы системы поддержки принятия решений отечественного и зарубежного производства и учтены их достоинства и недостатки [1,2,3,4]. Структура автоматизированной системы интеллектуальной поддержки принятия решений позволяет внутреннему содержимому программных модулей быть произвольным, также возможно объединение программных модулей в любой среде разработки, при условии поддержки в этой среде общего протокол данных программного комплекса.

При моделировании используются следующие инструменты интеллектуальной системы: база правил, база прецедентов, каскадная нейронная сеть.

База правил выступает как инструмент для определения различных параметров химического состава и обеспечивает контроль ограничений и требований, устанавливаемых на процесс проектирования [5]. С помощью базы прецедентов проверяется реакция системы (без этапа моделирования) на введенные пользователем данные (химический состав, наименование изделия). На основе полученных параметров составляется образ решения и происходит поиск на наличие схожих образов решения в базе прецедентов [5]. Каскадная нейронная сеть выступает основным инструментом для прогнозирования физико-механических и эксплуатационных свойств по параметрам, определяемым химическим составом, которые формируются с помощью базы правил [6].

Структурная модель формирования технологического маршрута представлена на рисунке 1.

Проверка работы системы осуществляется на примере моделирования свойств изделия из чугуна с вермикулярным графитом «Картер делителя передач» (№ 154-1770032-10). Система основана на разработанной базе правил, реализованной на языке CLIPS, каскадной нейронной сети, реализованной на языке C++ и базе знаний, для организации которой использована СУБД MySQL.

При организации базы правил для повышения скорости работы системы правила сгруппированы в блоки. Каждый блок разделен на Модули.

Фреймовая структура базы правил представляется в виде набора продукционных правил, левая часть которых является демонами фреймов, а правая часть отвечает за выполнение присоединенных процедур.

Процедуры, исполняющиеся внутри среды CLIPS прописываются в виде фактов, которые попадают в рабочую память базы правил, после их активации [7]. Процедуры, которые обращаются к другим инструментам интеллектуальной системы (требуется интеграции базы правил) прописываются в виде значений типа external-address, представляющих собой адрес структуры данных, которые возвращены внешней функцией. На начальном этапе работы системы оператором вводятся следующие данные: наименование изделия и решаемая задача. Далее информация анализируется и в виде значения «Картер межосевого дифференциала» вносится в слот «Описание узла» фрейма «Технологический процесс».

В базе данных по наименованию изделия и решаемой задаче производится поиск технологической карты изделия для определения технологических требований к изделию. Эти параметры технологических требований необходимы для формирования ограничений и условий при моделировании.

Если в процессе работы системы прецедент, соответствующий введенным оператором данным, не найден прогнозирование свойств осуществляется с помощью каскадной нейронной сети [5]. В результате проведенной одной итерации моделирования, возможно сформировать итоговый технологический маршрут. Химический состав шихты, вводимые дополнительные элементы (модификаторы) и их дозировку на различных этапах технологического маршрута можно посмотреть в соответствующем окне «Рецептура изделия» (рисунок 3).

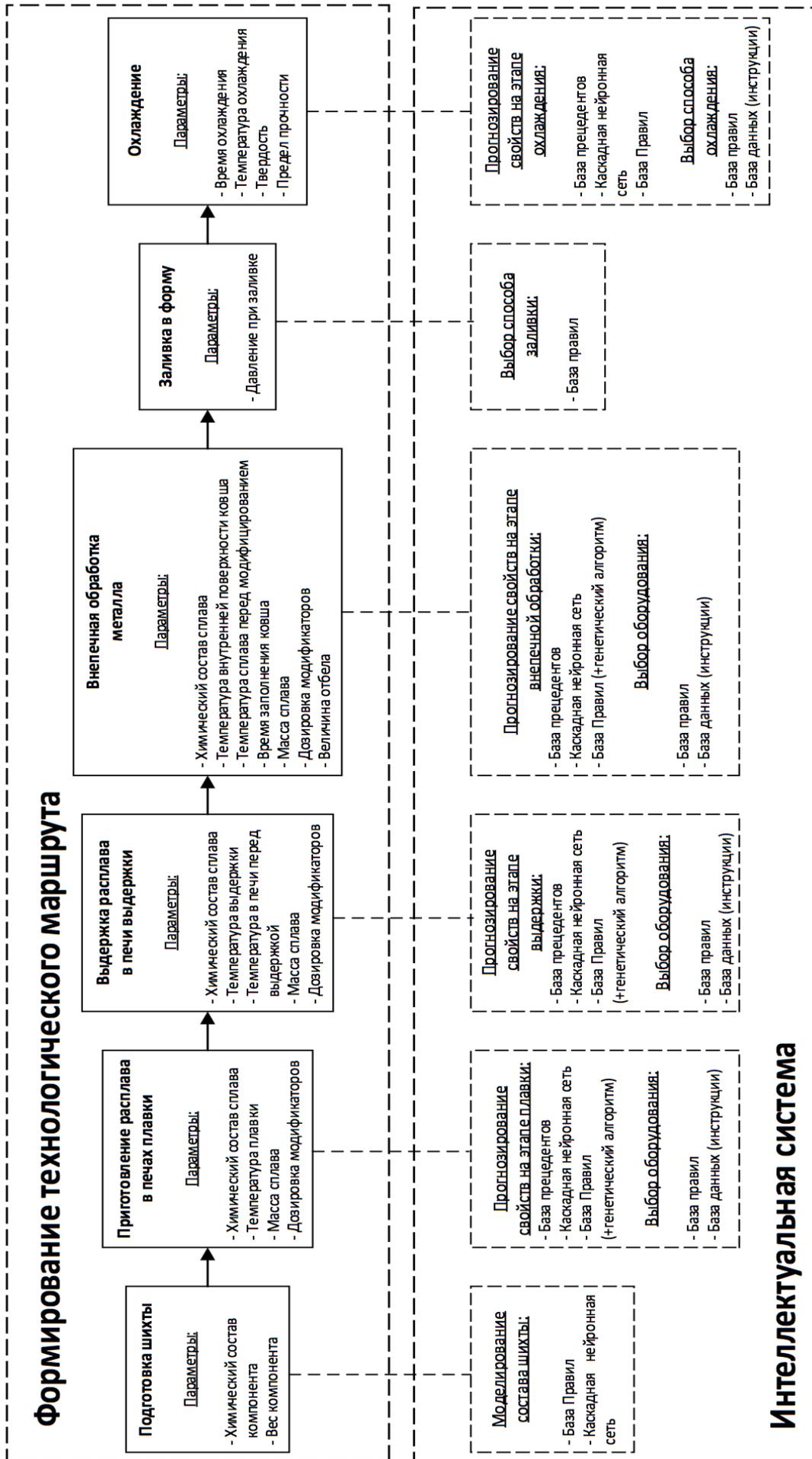


Рис. 1- Структурная модель формирования технологического маршрута

Экранная форма постановки задачи выглядит следующим образом (рисунок 2).

Данные Анализ База знаний Сервис Справка

Выбор изделия... Выполнить оптимизацию

Основные данные

Изделие 154-1770032-10 Картер делителя передач Масса 50 кг

Тех. карта 154-1770032-10-00001-0

Рецептура Технологический состав 001 изделия 154-1770032-10

Требуемые показатели

Размер сечения образца 11 мм

Твердость

Макс. 170 НВ

Мин. 190

Предел прочности

Макс. 360 МПа

Мин. 420

Ограничения

Добавить Удалить Добавить

Характеристика	Тип ограничения	Значение	Ед.изм.
----------------	-----------------	----------	---------

Оптимизация технологического процесса

Рис. 2 – Конечная форма постановки задачи на интерфейсе оператора

Данные Анализ База знаний Сервис Справка

Выбор изделия... Сохранить Отмена

Основные данные

Изделие 154-1770032-10 Картер делителя передач

Рецептура 001 Технологический состав 001 изделия 154-1770032-10

Список компонентов

Добавить Изменить Удалить

Позиция	Компонент	Тип	Описание	Количество	Ед.изм.
0010	ПЛ2-1-А-2	Шихта	Чугун предельный	10,8	т
0020	В4	Шихта	Лом ст. низкохромистый	18,8	т
0030	В450	Шихта	Возврат собственного производства	14,2	т
0040	ФС45-3 (2)	Шихта	Ферросилиций	0,66	т
0050	ФС50 (С)	Шихта	Ферросилиций	0,77	т
0060	ФМ70-2	Шихта	Ферромарганец	0,077	т
0070	ФУИ	Шихта	Графит гранулированный	1,35	т
0080	Известняк	Шихта	Известняк флюсовой	0,86	т
0090	ЧП	Модификатор	Чугун предельный	302,72	кг
0100	ФС45	Модификатор	Ферросилиций	281,6	кг
0110	Известняк	Модификатор	Известняк флюсовой	1,28	кг
0120	Сотрамаг	Модификатор	Сфероформирующий модификатор	11,5	кг
0130	ФС75-6	Модификатор	Ферросилиций	15,4	кг
0140	ФС48	Модификатор	Ферросиликохром	0,328	кг
0150	Лом	Модификатор	Лом стальной	471,5	кг
0160	Стружка	Модификатор	Графитовая стружка	23,08218	кг

Рецептура изделия

Рис. 3– Форма «Рецептура изделия»

Результаты тестирования показали, что система способна давать оценку результатам моделирования и вносить корректировки для обеспечения необходимых физико-механических свойств изделий из композиционных материалов, обусловленных условиями их эксплуатации.

Список литературы

1. Сайт GRANTA MI. Режим доступа: <http://www.grantadesign.com/products/mi/index.htm>
2. Лысогорский, Ю.В., Петров А.В., Недопекин О.В. Введение в пользовательский интерфейс MedeA®: учеб. – метод пособие – Казань: 2011. – С.4-8.
3. Форум CAD/CAM/CAE/PLM. Режим доступа: <http://cccp3d.ru/forum/6-vse-voprosy-o-cae/>
4. Группа компаний CSoft. ProCAST 2011.0. Режим доступа: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/procast/procast-2011.html>
5. Клочкова К.В., Петрович С.В., Юсупов Л.Р. Формирование модели базы знаний интеллектуальной системы проектирования чугуна с вермикулярным графитом // Студенческий научный журнал «Грани науки», 2014. - Т.2. - №2. - С. 73-78
6. Джозеф Джарратано, Гари Райли Экспертные системы. Принципы разработки и программирование // 4-е издание / Изд-во: Вильямс - 2007.

05.13.06

Г.Е. Кокиева д-р техн. наук

Якутская государственная сельскохозяйственная академия

**МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ**

За рубежом уделяется большое внимание экономии топлива путем применения биогаза как источника энергии, получаемого из биомассы и органических отходов сельскохозяйственного производства. Традиционные способы хранения и использования подстильного навоза неприемлемы для разбавленного, доля которого в структуре органических отходов животноводческих ферм и комплексов постоянно возрастает. Это обуславливает необходимость поиска способов переработки, которые обеспечили бы комплексную утилизацию его агротехнических, энергетических, кормовых и других свойств. В статье представлена технология переработки утилизации навоза путём микробного синтеза.

Ключевые слова: животноводческие фермы, подстильный навоз, переработка и утилизация навоза, комплексная утилизация, микробный синтез, жидкий навоз, метановое сбраживание, микробиологические показатели, технологическая схема, оборудование микробного синтеза, анаэробный способ.

С проблемой утилизации отходов очень тесно смыкается другая, все более обостряющаяся – охрана окружающей среды, которая также требует интенсивной и рациональной переработки отходов животноводства.

В Центральной Якутии, где сосредоточено около 90 % всего поголовья крупного рогатого скота отсутствуют технологии по переработке производимого навоза. В силу этого навоз затрудняет нормальное и безопасное функционирование животноводческих ферм, находящихся непосредственно в населённых пунктах. Отсутствие технологий по переработке навоза приводит к многолетним накоплениям навоза около ферм, расположенных рядом с естественными водоемами, что влечет за собой их сильное загрязнение. Решение этих проблем позволит прежде всего значительно повысить производительность оборудования без увеличения объема реактора, ограниченного возможностью его транспортирования, а также перейти к разработке высокопроизводительных биореакторов большого объема. В этом случае можно обеспечить эффективное использование биогазовых установок на животноводческих фермах и комплексах, сохранение блочно-модульного принципа построения комплексов оборудования.

На рис.1 представлен метантенк для получения биогаза анаэробным способом.

Эксплуатация биогазовых установок дает как прямой экономический эффект (дешевое топливо), так и дополнительный [9]. Под последним понимают в первую очередь повышение ценности органических удобрений, получаемых после сбраживания. С преобразованием органических форм азота в аммиачные существенно улучшаются физические свойства шлама – он становится менее вязким, легче гомогенизируется и перекачивается, а при разбрызгивании быстрее стекает с растений, что уменьшает (при высоких значениях рН) возможность ожога. В процессе брожения уничтожаются также яйца и личинки паразитов, некоторые виды бактерий и семена сорняков. Таким образом, метановое сбраживание навоза в сочетании с переработкой выделяющегося при этом биогаза в кормовой белок на основе управляемого микробного синтеза – новый производственный процесс, обеспечивающий получение как энергии, так и кормовых добавок. Эта технология позволяет реализовать на животноводческом предприятии ускоренный цикл биоконверсии веществ параллельно традиционному пути их регенерации в растениеводстве, что обеспечивает

реальные возможности создания животноводческих комплексов в виде безотходных производств, удовлетворяющих всем требованиям экономики и охраны окружающей среды.

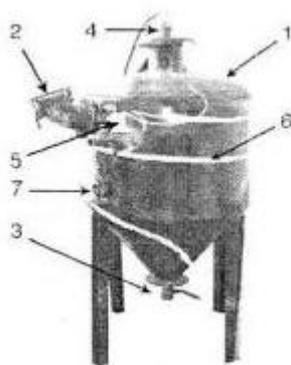


Рис. 1. Метантенк

1-цилиндрическая стальная емкость; 2-патрубок для выгрузки свежего навоза; 3-патрубок для выгрузки переработанного навоза; 4-патрубок для отвода биогаза; 5-терморегулятор с датчиком; 6-электронагревательная лента; 7-мешалка механическая;

Список литературы

1. Друзьянова, В.П. Выбор изоляционного материала для биогазовой установки по переработке навоза КРС/ В.П. Друзьянова, О.А. Оконешников // Научное обеспечение реализации национального проекта в сельском хозяйстве: материалы науч.-практ.конф.преподават, сотрудников и аспирантов.-Улан-Удэ, 2010.-С.58-60.
2. Друзьянова, В.П. К переработке и утилизации органических отходов сельского хозяйства/ В.П. Друзьянова, Д.С. Осипов, Я.С. Семенов// Химия по знаком Сигма : исследования, инновации, технологии: материалы Всерос. научн. молодеж. шк. - конф.-Омск,2010.-С.230-231.
3. Друзьянова, В.П. Биогазовая установка для переработки отходов частных животноводческих хозяйств применительно к условиям Республики Саха (Якутия) / В.П. Друзьянова, Е.Н. Кобякова // Наука и образование в XXI веке : сб.науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 31 окт. 2014 г.: в 17 ч. Тамбов, 2014 – Ч. 17 - С. 57-61.
4. Кокиева, Г.Е. Исследование аппарата для культивирования микроорганизмов / Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 123-125.
5. Кокиева Г.Е. Кормовые дрожжи как биологически активная добавка в кормлении сельскохозяйственных животных // Матер. регион. науч.- практ. конф. «Пищевые технологии, качество и безопасность продуктов». – Иркутск: Изд-во ИТУ, 2006.

05.13.06

В.И. Коломиец канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
кафедра автоматизации и электроснабжения,
Москва, v16046902008@yandex.ru

АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ УМНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В работе представлены результаты анализа реализованных проектов умного освещения в городах РФ. Выбраны показатели для оценки эффективности мероприятий по повышению энергоэффективности городского освещения. Показано, что наиболее востребованной моделью трансформации является модель локальных действий.

Ключевые слова: *умный город, умное освещение, энергоэффективность, интеллектуальная система управления освещением, диммирование.*

Введение

С 2017 года в нашей стране реализуется целевая государственная программа «Цифровая экономика», частью которой является проект Минстроя России «Умный город». Проект призван повысить эффективность управления городским хозяйством и создать безопасную и комфортную среду для горожан. В 2019 г. проект стал обязательным в рамках сразу двух программ – «Цифровая экономика» и «Жилье и городская среда».

Выбор оптимального сценария цифровой трансформации во многом зависит от целей, которые перед собой ставит город, а также от стартовых условий развития цифровых технологий и наличия финансирования.

Технология Умного освещения оказалась наиболее доступной для городских администраций в условиях нехватки бюджетных средств. Реализация проектов Умного освещения с одновременным строительством инфраструктуры на базе IoT сетей и развертыванием интеллектуальных систем управления освещением — это актуальный на данный момент этап развития [1]. Наличие инфраструктуры и интеллектуальной системы управления освещением позволяет впоследствии подключать дополнительные сети (приборы учета, контроля среды и пр.), приближаясь к полноценному Умному городу.

Целью исследования являлось изучение и обобщение опыта реализации проектов Умного освещения в городах РФ.

Исследование показателей энергоэффективности освещения

На февраль 2020 г. в РФ существуют только ведомственные документы, которые либо носят полностью базовый характер, либо, наоборот, касаются отдельных решений [2].

Поэтому разработка и реализация проектов умных городов в РФ, а значит и проектов умного освещения, до сих пор осуществлялись в соответствии с существующими международными стандартами и мировой практикой.

В 2014 году был введен стандарт ISO 37120:2014 «Устойчивое развитие сообщества. Показатели городских услуг и качества жизни», который определил 46 обязательных и 56 дополнительных показателей по 17 направлениям. Идентичный ему стандарт был выпущен в РФ в 2015 г. – стандарт ГОСТ ИСО 37120:2015.

Использование стандарта помогает количественно оценить состояние различных направлений умного города и определить проблемные. На основании этих оценок города стремятся улучшить свои позиции в реестре World Council on City Data (WCCD), ответственного за сертификацию по соответствию ISO-стандартам.

Однако в ISO 37120:2014 нет конкретных показателей, которые бы позволили оценить энергоэффективность городской системы наружного освещения.

Первым документом в РФ, включившим в качестве одного из направлений реализации концепции умного города энергоэффективное наружное освещение, стал ведомственный стандарт Министерства строительства РФ 2019 года [3]. В рамках стандарта предлагается в период с 2019 по 2024 г. реализовать 28 направлений, объединенных в 8 групп.

В дополнение Министерством строительства России совместно с МГУ им. Ломоносова был разработан Индекс цифровизации городского хозяйства «IQ городов» [4].

В рамках направления «инновации» при определении IQ применяются два показателя, позволяющих оценить степень интеллекта системы наружного освещения – наличие энергоэффективного городского освещения и доля опор освещения, охваченных интеллектуальными системами управления освещением.

В начале 2020 г. для обсуждения стал доступен проект национального стандарта «Информационные технологии. Умный город. Показатели». В этом стандарте в части оценки энергоэффективности городского освещения также предлагается показатель «доля уличного освещения, управляемого интеллектуальной системой управления» [5].

Под интеллектуальной системой управления понимается система управления, способная осуществлять удаленный мониторинг точек освещения, устанавливать графики выключения/включения и регулировать уровень освещенности путем затемнения. Это означает, что точка освещения может быть индивидуально и дистанционно управляема с помощью системы на базе ИКТ, которая подключена к точкам освещения через коммуникационную сеть. Эта система должна также измерять электроэнергию, потребляемую точкой освещения, и сообщать с помощью ИКТ о неисправностях.

Таким образом, оценку эффективности мероприятий по повышению энергоэффективности городского освещения целесообразно выполнять по двум показателям:

- наличие энергоэффективного городского освещения;
- доле уличного освещения, управляемого интеллектуальной системой управления.

Анализ реализованных проектов «Умное освещение»

В соответствии с требованиями типового технического задания на разработку проекта Умное освещение (проекта повышения энергоэффективности системы наружного освещения города) должна быть предусмотрена не только замена устаревших светильников на новые энергосберегающие, но и установка автоматизированной (интеллектуальной) системы управления наружным освещением с функциями коммерческого учета электроэнергии.

Кроме того, на магистральной части проектируемой системы освещения вместе с каждым светильником должен быть установлен модуль индивидуального управления, позволяющий дистанционно регулировать мощность каждого светильника как индивидуально, так и группой по беспроводным каналам передачи данных, а также обеспечивать мониторинг состояния каждого светильника [1].

Из всех проектов модернизации городских систем наружного освещения в качестве характерных можно выделить проекты городов Иваново и Белгорода.

Модернизация системы наружного освещения города Иваново была выполнена в 2018 году компанией ООО «Световые технологии ЭСКО» в сотрудничестве с национальным оператором информационно-коммуникационных услуг АО «ЭР-Телеком Холдинг» при поддержке правительства Ивановской области.

Замене подверглось более 86% от общего количества уличных светильников, было установлено 15,5 тысяч современных светодиодных светильников взамен устаревших ртутных и натриевых ламп, из них 6,7 тысяч светильников были оснащены контроллерами и устройствами беспроводного доступа, использующими технологию LoRaWan [6].

Автоматизированная система управления освещением была реализована на базе существующей беспроводной сети IoT (Industrial Internet of Things) АО «ЭР-Телеком Холдинг», построенной на базе технологии LoRaWan и предназначенной для цифровой трансформации производства и городской инфраструктуры.

Система управления позволяет дистанционно управлять как мощностью каждого светильника, оснащенного контроллером (диммирование от 0 до 100%), так и группами

светильников. Кроме того, она обеспечивает удаленный online мониторинг ряда параметров светильника и контроль его работоспособности.

В результате модернизации потребление электроэнергии снизилось на 69% при одновременном увеличении освещенности на улицах города в 1,25 – 2 раза. Дополнительная экономия до 15% может быть достигнута за счет диммирования и подбора экономичных сценариев освещения [7]. Созданная сетевая инфраструктура может быть использована в дальнейшем для расширения перечня технологий Умного города (приборы учета, контроль загрязнений воздуха, управление дорожным движением и т.д.).

Модернизация системы наружного освещения города Белгорода стартовала в 2007 г. с установки в пилотном режиме автоматизированной системы управления освещением «Гелиос», разработанной Институтом Высоких Технологий Белгородского государственного университета.

Применение системы управления «Гелиос» даже без замены устаревших типов светильников позволило снизить за первый год эксплуатации потребление электроэнергии на 20%, на 30% снизить затраты на эксплуатацию [8].

В настоящее время в рамках автоматизированной системы управления освещением «Гелиос» в зависимости от потребностей и бюджета проекта могут быть реализованы три функции: управления светильниками, управления фазами и диммирования.

Функция управления светильниками применяется для освещения городов, крупных промышленных объектов, дорог и автомагистралей. Предусматривает адресное управление каждым светильником, включая диммирование, с возможностью объединения их в группы. Регулирование уровня освещенности целой линии осуществляется через регулирование каждого светильника индивидуально. Обеспечивает снижение энергопотребления (без замены светильников) до 40%.

Менее гибкой является функция управления фазами, которая применяется для модернизации непротяженных сетей в мелких населенных пунктах и прилегающих территориях. Обеспечивает снижение энергопотребления до 30%.

Функция диммирования применяется для освещения прилегающих территорий торговых центров, стоянок, складских помещений. Предусматривает гибкое изменение режимов мощности освещения (диммирование) по отдельным линиям. Обеспечивает снижение энергопотребления до 40%.

Общая схема работы системы управления приведена на рис. 1 [9].



Рис.1. Общая схема работы системы управления

Система управления «Гелиос» - беспроводная, реализована на основе идеологии применения существующих сетей GSM-связи с использованием SMS-сообщений. Однако обмен информацией может быть организован и по каналам связи PLC/RF/LoRaWAN. В стандартной комплектации непосредственное управление светильниками осуществляет шкаф управления по силовым линиям, преобразуя полученные сигналы в сигналы интерфейса DALI/PWM/0-10 В [9].

Изучение опыта реализации проектов умного освещения показывает, что наиболее востребованной моделью трансформации систем наружного освещения является модель локальных действий, при которой из-за недостаточности ресурсов трансформации подвергаются отдельные, наиболее проблемные инфраструктурные сектора городской экономики. Популярным способом финансирования проектов становится энергосервисный контракт, при котором возврат средств инвестору производится в течении 6-7 лет за счет экономии на энергоресурсах при последующей эксплуатации.

Проекты модернизации систем наружного освещения, как правило, начинаются с запуска пилотных зон в пределах нескольких улиц или микрорайонов с одновременной подготовкой инфраструктуры беспроводных сетей IoT. В дальнейшем доля охвата осветительных сетей увеличивается.

Наибольшее применение находят системы умного освещения, предусматривающие широкий круг функций автоматизированных систем управления от простого диммирования линий до управления отдельными светильниками.

Во всех проектах применяются беспроводные сети для обеспечения обмена информацией между серверами и шкафами управления. Наметилась тенденция ухода от использования беспроводных GSM-сетей и строительства специализированных IoT сетей (LoRaWAN). Созданная сетевая инфраструктура может быть использована в дальнейшем для расширения перечня технологий Умного города (приборы учета, контроль загрязнений воздуха, управление дорожным движением и т.д.).

Заключение

Для оценки энергоэффективности городского освещения в рамках проектов «Умное освещение» достаточно использовать два показателя: наличие энергоэффективной сети (применение энергосберегающих светильников) и показатель «доля уличного освещения, управляемого интеллектуальной системой управления».

Переход к умному освещению в большинстве реализуемых проектов осуществляется по модели локальных действий, при которой трансформации подвергаются только осветительные сети, иногда вместе со строительством беспроводных сетей IoT.

Планируемое снижение энергопотребления при реализации проекта «Умное освещение» 20-40%, снижение эксплуатационных расходов до 30%.

Наиболее перспективными следует признать проекты, реализующие функции управления светильниками с помощью беспроводных сетей IoT.

Список литературы

1. *Ляшук В.Ф.* Энергосервис как инструмент реализации проекта «Умный город» // Региональная энергетика и энергосбережение. 2019. № 1. URL: <https://energy.s-kon.ru/razvitiie-arcticheskou-zonu-3-2-3-2-2/> (дата обращения 10.03.2020).
2. Умный город: развитие в России [Электронный ресурс] // TAdviser.ru: интернет-портал и аналитическое агентство. М., 2005-2020. Дата обновления 15.01.2020. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Умный_город:_развитие_в_России (дата обращения 24.02.2020).
3. Базовые и дополнительные требования к умным городам (стандарт «Умный город») [Электронный ресурс] // Minstroyrf.ru: официальный сайт Мин. строительства и ЖКХ РФ. М., 2014-2020. URL: <https://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/74f/Standart.pdf> (дата обращения 24.02.2020).
4. Минстрой России представил первый индекс IQ городов. // Minstroyrf.ru: официальный сайт Мин. строительства и ЖКХ РФ. 2020. 3 марта. URL: <https://www.minstroyrf.ru/press/minstroy-rossii-predstavil-pervyy-indeks-iq-gorodov-/> (дата обращения 15.03.2020).
5. Начато публичное обсуждение проекта стандарта «Информационные технологии. Умный город. Показатели.» [Электронный ресурс] // Tc194.ru: оф. сайт тех. комитета Росстандарта 194 «Кибер-физические системы». 2019. 16 декабря. URL: <http://tc194.ru/> (дата обращения 10.01.2020).

6. Сборник лучших региональных практик. [Электронный ресурс] // Csr.ru: портал Центра стратегических разработок. 2020. 26 февраля. URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/462/4629206fd294ab3870d5cb6176657708.pdf> (дата обращения 15.03.2020).
7. Иваново – первый в стране город, где смонтирована «умная» система управления уличным освещением. // Ivanovoobl.ru: оф. сайт Правительства Ивановской области. 2018. 25 декабря. URL: <http://www.ivanovoobl.ru/press?type=news&id=18820>
8. Энергоэффективность. [Электронный ресурс] // Helios.su: сайт АСУНО «Гелиос» (ООО «ИВТБелГУ»). URL: <https://helios.su/index.php/2013-02-28-13-27-24/energoeffektivnost> (дата обращения 15.03.2020).
9. Решение для создания интеллектуальной системы управления и мониторинга наружного освещения. [Электронный ресурс] // Helios.su: сайт АСУНО «Гелиос» (ООО «ИВТБелГУ»). URL: <https://helios.su/images/presentations/helios-reshenia-dlya-sozdaniya-intellektualnoy-sistemi.pdf> (дата обращения 15.03.2020).

05.13.06

В.В. Лебедев канд. техн. наук, О.В. Пухова канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет,
кафедра электронно-вычислительных машин,
Тверь, Lebedev_vl.69@mail.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В статье рассматривается разработанная система автоматического регулирования процессов в теплообменнике котельной установки. Программное обеспечение системы регулирования, позволяет осуществлять автоматический контроль технологических параметров и поддержание оптимальных режимов работы, обеспечивая безопасное ведение технологического процесса, повышение производительности оборудования, снижению затрат топлива и энергии.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, программное обеспечение, режимы работы, технологические параметры, котельная установка.

Котельные установки применяют для тепло- и пароснабжения при централизованном, местном или локальном снабжении (дом, квартира). Она является сложным техническим сооружением, которое состоит из водогрейного котла и вспомогательного оборудования, размещенного в помещении котельной и предназначенного для производства пара с необходимыми параметрами или для подогрева горячей воды, или того и другого одновременно. Составными котла являются: топка; пароперегреватель; водяной экономайзер; воздухоподогреватель; обмуровка; каркас с лестницами и площадками.

В зависимости от производительности различают котельные установки малой (меньше 20 т/ч), средней (20-70 т/ч) и большой (больше 100 т/ч) производительности. Если котельная установка обладает большой производительности, то для вторичного перегрева пара устанавливают дополнительные пароперегреватели, а для подачи воздуха в топку котельного агрегата устанавливается вентилятор.

Разработанная программа обеспечивает автоматическое регулирование [1] процессов в теплообменнике котельной установки, с различными физическими параметрами, а также технологический процесс регулирования температуры на выходе по каналу: температура – расход газа. После запуска программы автоматического регулирования появляется интерфейс программного обеспечения [2]. Экрана монитора оператора делится на вкладки. Нажав на вкладку «Схема установки» на экране монитора появляется функциональная схема технологического оборудования котельной установки (рис. 1). Интерфейс программы, меняется при протекании технологического процесса, показывая изменения, происходящие в теплообменнике котельной установки.

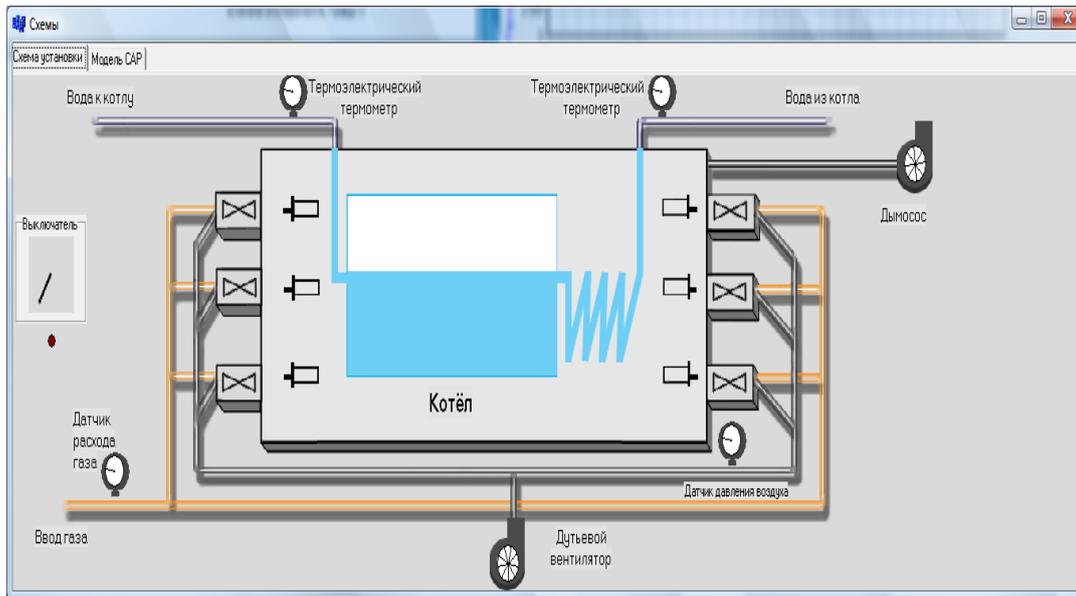


Рис. 1. Функциональная схема технологического оборудования котельной установки

Во время работы технологического оборудования газового котла приборы – датчик расхода газа, термоэлектрические термометры, датчик давления воздуха; показывают соответствующие значения. Расход газа может изменяться от 0 до 10000 м³/час. По достижении определённой температуры вода в котле начинает кипеть, производя пар с необходимыми параметрами.

Автоматическое регулирование позволит поддерживать заданные технологические параметры температуры нагреваемой жидкости на выходе из котельной установки с помощью регулятора, который в зависимости от ситуации изменяет расход газа, тем самым увеличивая или уменьшая количество теплоты, отдаваемое жидкости.

Нажав на вкладку программы «Модель САР», открывается структурная схема системы автоматического регулирования газового [3] котла (рис. 2). На схеме, в виде условных обозначений, показаны элементы обеспечивающие регулирование технологических параметров.

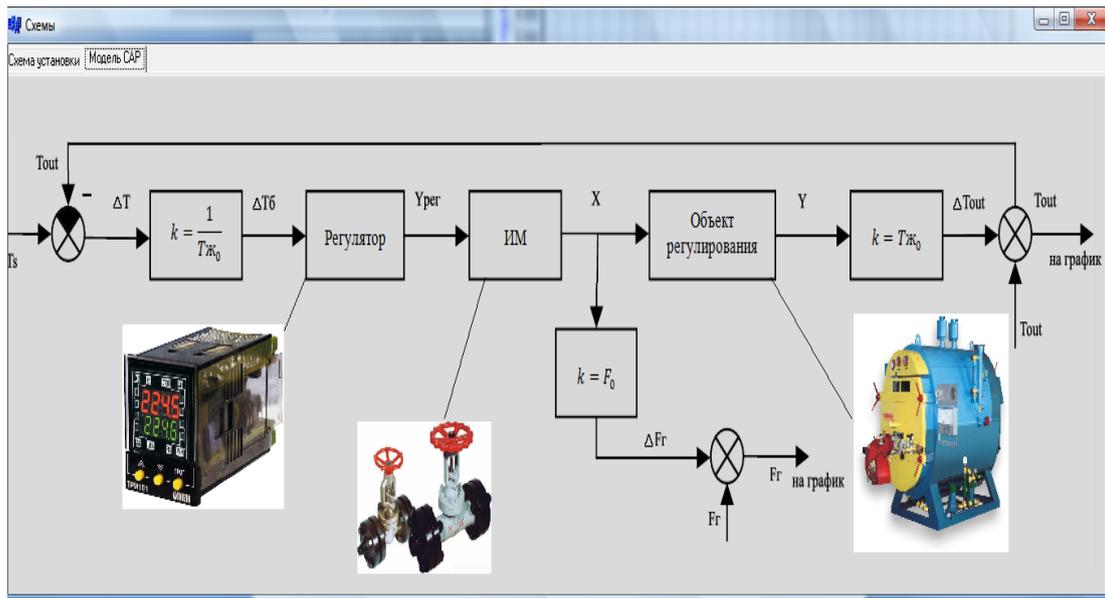


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования газового котла

Регулирование происходит следующим образом. На вход системы подаётся заданное значение температуры (T_s) в виде электрического сигнала определённого напряжения; термоэлектрический термометр измеряет температуру на выходе из котла (T_{out}), преобразует полученное значение в электрический сигнал и подаёт его на элемент сравнения (ЭС). На выходе ЭС получаем рассогласование ($\Delta T = T_s - T_{out}$), величину показывающую отличие текущей температуры от заданной. Рассогласование подаётся на вход регулятора, который в зависимости от своих настроек и закона регулирования вырабатывает управляющий сигнал. Этот сигнал подаётся на вход исполнительного механизма (ИМ) – заслонки; если сигнал не нулевой положение заслонки изменяется, увеличивая или уменьшая расход газа. Изменение расхода газа подаётся на вход объекта регулирования (ОР). На выходе определяется реакция объекта регулирования на изменение расхода газа в виде изменения температуры.

Жидкость в теплообменнике нагревается за счёт теплоты, которая выделяется при сгорании топлива (расход газа $F_{гг}$ м³/час) до температуры $t_{вых}$, °С.

Параметры жидкости: расход F кг/с; температура на входе в теплообменник $t_{вх}$, °С; удельная теплоёмкость $c_{ж}$, Дж/(кг К).

Входные величины:

- изменение расхода газа F_g ;

- изменение расхода жидкости F ;

- изменение температуры жидкости на входе в теплообменник $t_{вх}$. Уравнение теплового баланса для теплопередающих стенок котла за время dt , имеет вид:

$$F_g g_g d = m_c c_c dt_c + \alpha A (t_c - t_{вых}) dt,$$

где g_g – удельная теплота сгорания топлива, Дж/кг; m_c – масса теплопередающих стенок, кг; A – площадь поверхности теплообмена, м².

Для задания технологических параметров системы автоматического регулирования котельной установки предусмотрена специальная вкладка «Управление». Окно управления, в свою очередь, разделено на две вкладки: «Физические параметры» (рис. 3) и «Параметры регулирования».

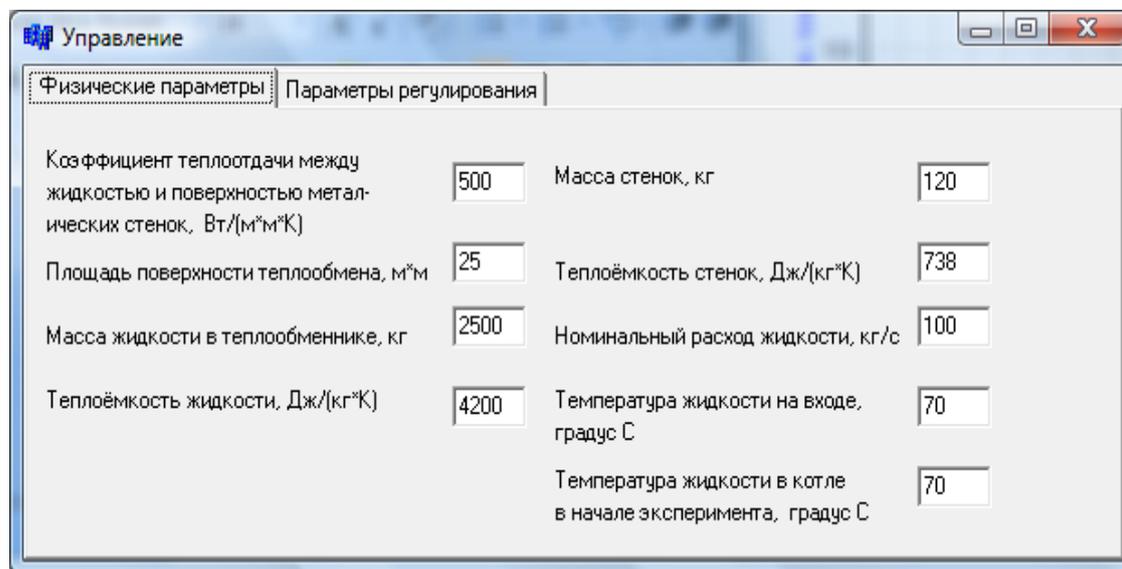


Рис. 3. Вкладка программного обеспечения «Физические параметры» для задания технологических параметров

Вкладка программы «Физические параметры» позволяет задавать следующие параметры: коэффициент теплоотдачи между жидкостью и поверхностью металлических стенок; массу жидкости в теплообменнике; теплоёмкость жидкости; теплоёмкость стенок; номинальный расход жидкости; температуру жидкости на входе в теплообменник.

Вкладка программного обеспечения «Параметры регулирования» позволяет изменять параметры управляющего регулятора (усиление, пропорциональная и интегральная составляющие). Предусмотрена возможность изменения пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора на пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-дифференциальный (ПД) или пропорциональный (П) регулятор. Имеется возможность изменять скорость открытия заслонки.

Для контроля оператором технологических параметров процессов протекающих в котельной установки и анализа полученной информации, интерфейсом программы предусмотрена вкладка «Графики». Вкладка позволяет в динамическом режиме, получать графики переходных процессов и отслеживать расход газа, температуру пара и другие технологические параметры.

Таким образом, разработанное программное обеспечение САР, имеет интуитивно понятный интерфейс, состоящий из нескольких панелей и вкладок, настройки элементов автоматической системы регулирования, системы отображения параметров технологического процесса и элементы графического отображения. Программа полностью осуществляет автоматическое регулирование процессами и обеспечивает автоматический контроль и поддержание оптимальных режимов работы, а так же повышение производительности оборудования и снижение затрат топлива и энергии.

Список литературы

1. *Lebedev Vladimir, Puhova Olga* Software for Automated Production Line of Peat Briquettes В сборнике: E3S Web of Conferences «The 1st International Innovative Mining Symposium». Volume 15. 2017. P. 01018.
2. *Мельцер М.И.* Разработка алгоритмов АСУП. - М.: Статистика, 2014. - 240 с.
3. *Абу-Абед Ф.Н., Наумова Л.Г.* IT-Технологии в автоматизации технологических процессов в горной промышленности // Техника и технология горного дела. 2019. № 3 (6). С.21-35.

05.13.06

Л.А. Симонова д-р техн. наук, Г.М. Капитонова

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ,
отделение информационных технологий и энергетических систем,
кафедра автоматизации и управления,
Набережные Челны, guzel1208@mail.ru

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

В работе предложена реализация фреймовой модели представления знаний о технологическом маршруте изготовления изделия экспертной системы, с использованием методики выбора оборудования основанная на матрице исходных данных и ограничений технологического процесса обработки.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, интеллектуальная система, фреймовая модель, база правил, алгоритм работы базы знаний.

Одним из показателей интеллектуальности системы управления информационными потоками в альтернативных технологических маршрутах на этапе технологической подготовки производства (ТПП) с точки зрения представления знаний считается способность системы использовать в нужный момент релевантные знания необходимые технологу для описания наиболее оптимальной технологии изготовления изделия. Связность знаний является основным способом, обеспечивающим ускорение поиска релевантных знаний. Знания следует организовывать вокруг наиболее важных сущностей предметной области. В данной работе главной сущностью является технологического оборудование, на котором происходит обработка заготовки.

С точки зрения архитектуры знания в базе знаний целесообразно делить на интерпретируемые и неинтерпретируемые. К первому типу относятся те знания, которые способен интерпретировать технолог. Все остальные знания относятся ко второму типу.

Интерпретируемые знания можно разделить на предметные знания – знания о технологическом процессе, оборудовании, инструменте, оснастке и материале и способах преобразования этих данных при решении поставленных задач; управляющие знания – знания о взаимодействии объектов технологического процесса между собой и знания о представлении – информацию о том, каким образом в системе представлены интерпретируемые знания доступные для восприятия как пользователем, так и многоагентной системой.

В предметных знаниях можно выделить описатели и предметные знания. Описатели содержат определенную информацию о предметных знаниях, такую как коэффициент приоритетности правил и данных.

На основе выше изложенной концепции представления знаний разработана фреймовая модель описания знаний о технологическом маршруте изготовления изделия интеллектуальной системы [1].

Феноменологическая сила фрейм-представления во многом основывается на включении в него предположений и ожиданий. Слотам фрейма могут быть заранее приписаны, по умолчанию, некоторые стандартные значения. Это позволяет анализировать с помощью фреймов ситуации, в которых отсутствует упоминание о ряде деталей. Стандартные значения, присвоенные по умолчанию, не жестко связаны со своими слотами и могут быть замещены более подходящими значениями, если они найдены в обрабатываемой ситуации. Системы фреймов, в свою очередь, обычно организуют в информационно-поисковую сеть [2].

По результатам заполнения значений слотов в каждом структурном элементе формируется текущая база данных, являющаяся исходной для расчетов в следующем, нижележащем структурном элементе. В результате этих расчетов на нижнем уровне производится выбор оптимального маршрута перемещений детали [3].

Дифференциация процесса обработки по структурным элементам технологического маршрута позволяет все признаки детали и ограничения на обработку представить наиболее подробно, а сравнивать их пошагово, в соответствии с порядком прохождения взаимосвязанных фреймов.

Выбор технологического маршрута протекает по ходу выполнения технологии, которую можно дифференцировать на восьми иерархических уровнях со своими структурными элементами. При моделировании каждого из них происходит сравнение аналогичных слотов фрейм-экземпляра с соответствующими слотами фрейм-образца, затем выполняются необходимые расчеты и формируется система ограничений на проектирование и расчет его структурных составляющих (Рисунок 1).

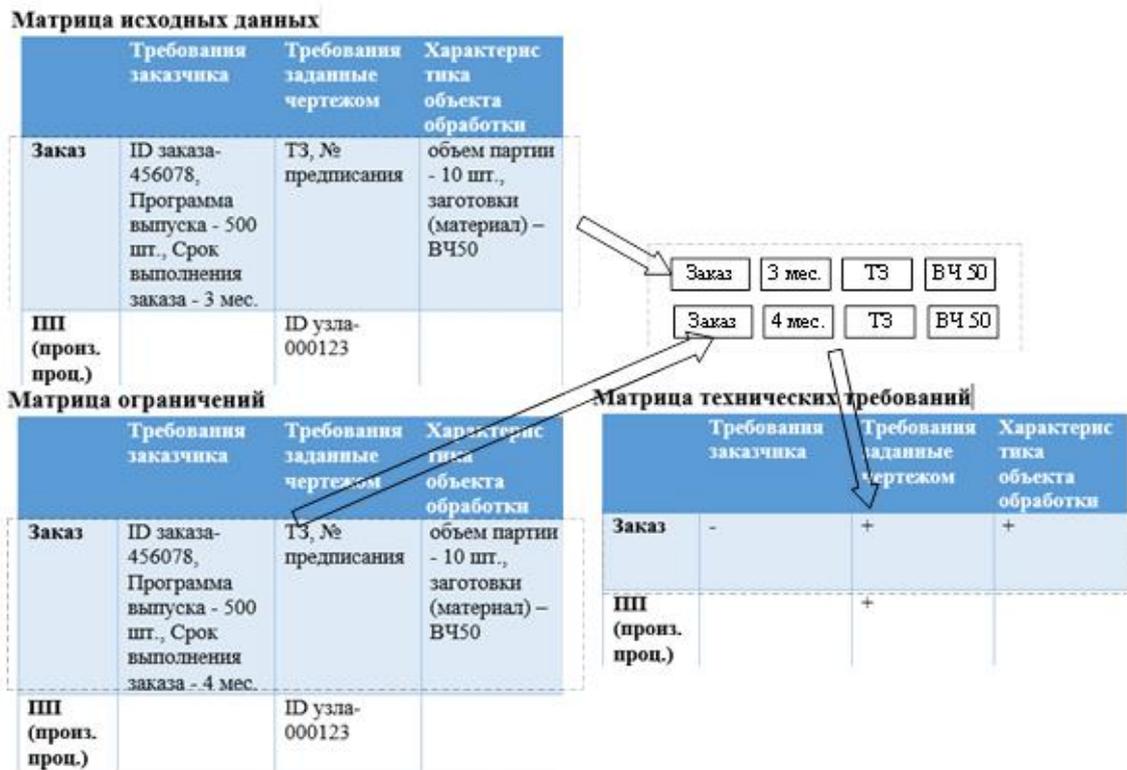


Рис. 1 – Схема пошагового сравнения фрейм-образца и с фрейм-экземпляром

Дифференциация процесса обработки по структурным элементам технологического маршрута позволяет все признаки деталей и ограничения на обработку представить наиболее подробно, а сравнивать их пошагово, в соответствии с порядком прохождения фрейм-модели.

Каждая процедура ввода исходных данных представляет собой выбор или расчет ограничений на величину того или иного параметра. В случае удовлетворения условию, фрейм проходит на следующий этап выборки.

По окончании проектирования структурного элемента, таким образом, может быть установлено не одно значение параметра, а целый набор или интервал значений, что и позволяет получать на любом этапе альтернативные варианты. Исходя из этих ограничений, формируются альтернативные варианты содержания уже этих составляющих, и далее процесс повторяется.

После окончания обработки условий выполнения варианта отдельного рабочего хода, начинается второй этап расчетов - математическое моделирование данного вариантами выполнения процесса резания, т.е. расчет его параметров и итоговых показателей.

Далее выполняется третий этап - последовательное суммирование показателей операции

по всем уровням структурного элемента и отбор вариантов по итоговым количественным показателям структурного элемента [3].

В результате отбора составляется список маршрутов с соответствующими технологическими параметрами по приоритету, удовлетворяющий технологический процесс по обрабатываемой детали.

На следующем этапе производится окончательный выбор маршрута изготовления в соответствии с ограничениями по времени и себестоимости.

Алгоритм сравнения фрейм-экземпляра с фрейм-образцом и расчет оптимального маршрута представлен на рисунке 2.

Таким образом, двигаясь указанным способом по фреймовой модели можно определить время выполнения всех структурных элементов и всего технологического маршрута, что позволяет произвести расчет оптимального пути перемещения изделия, через которые проходит маршрут.



Рис. 2 - Алгоритм сравнения фрейм-экземпляра с фрейм-образцом и расчет оптимального маршрута

Основным преимуществом фреймов как модели представления знаний является то, что она отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также ее гибкость и наглядность, что позволяет применительно к рассматриваемой модели предметных знаний технологического маршрута изготовления производственного заказа, определять наиболее оптимальный маршрут основываясь на технико-экономические показатели. Конечным результатом является сумма затрат на реализацию технологии, на основании которых дается окончательное решение по выбору наиболее эффективного варианта технологического маршрута изготовления заказа.

Список литературы

1. *Симонова Л.А., Капитонова Г.М.* Фреймовая модель представления знаний в экспертной системе выбора технологического маршрута // МНТК «ИМТОМ-2019». – 2019. – №1.
2. Представление знаний в экспертных системах / Морозова В.А., Паутов В.И. Учебное пособие, Екатеринбург Изд-во Урал. ун-та, 2017, 120с.
3. *Шибakov В.Г., Симонова Л.А., Мулюков Р.И., Руднев М.П., Хамадеев Ш.А.* Интеллектуальная система формирования технологических процессов штамповочного производства на основе CALS-технологий // Academia Москва – 2011. – 220 с.
4. Программная система формирования баз знаний в формате CLIPS <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=551742#1> (дата обращения 25.05.2019).

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

05.13.11

М.П. Овчинцев канд. физ.-мат. наук, Е.М. Гусакова

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный Университет»,
Институт фундаментального образования,
кафедра прикладной математики,
6714543@rambler.ru, 1k86@mail.ru

**ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ФУНКЦИЙ,
ПРИНАДЛЕЖАЩИХ НЕКОТОРЫМ КЛАССАМ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ**

В статье изучается задача оптимального восстановления производных от ограниченных аналитических функций, заданных в единичном круге в точке по их значениям в конечном числе точек; причем, эти функции рассматриваются с некоторым весом. Работа разбита на два раздела. В первом разделе приводятся необходимые сведения. Во втором – выписывается экстремальная функция, при помощи которой можно определить погрешность наилучшего метода приближения, устанавливается единственность линейного наилучшего метода приближения и в конце работы вычисляются его коэффициенты.

Ключевые слова: *оптимальное восстановление, наилучший метод, погрешность наилучшего метода, линейный наилучший метод, экстремальная функция.*

1. Введение

Обозначим через $K = \{z: |z| < 1\}$ – единичный круг, а через $\Gamma = \{|z| = 1\}$ – единичную окружность. Пусть на Γ задана непрерывная функция $\rho(\zeta)$ ($\rho(\zeta) > 0, \zeta \in \Gamma$). Обозначим через $B_{\rho(\zeta)}^1 = \{f(z): |f(\zeta)| \leq \rho(\zeta), \text{ п. в. на } \Gamma, \zeta \in \Gamma\}$ – множество аналитических в K функций. Пусть ξ, z_1, \dots, z_n – различные точки, лежащие в круге K и $S(t_1, \dots, t_n)$ – любая комплексная функция n комплексных переменных. Тогда,

погрешностью приближения методом S значений $f'(\xi)$ по значениям $f(z_1), \dots, f(z_n)$ ($f(z) \in B_{\rho(\zeta)}^1$) называется следующая величина

$$r_n(S) = \sup_{f(z) \in B_{\rho(\zeta)}^1} |f'(\xi) - S(f(z_1), \dots, f(z_n))|.$$

Метод S_0 называется наилучшим методом приближения, если

$$r_n(S_0) = \sup_S r_n(S).$$

Согласно работе К.Ю. Осипенко [1] в рассматриваемом случае существует линейный наилучший метод приближения $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$. Причем, погрешность наилучшего метода можно вычислить по формуле

$$r_1(\xi, z_1, \dots, z_n) = \max_{\substack{f(z_1)=\dots=f(z_n)=0 \\ f \in B_{\rho(\zeta)}^1}} |f'(\xi)|, \quad (1)$$

(здесь мы обозначили: $r_1(\xi, z_1, \dots, z_n) = r_n(S_0)$).

Заметим, задачи оптимального восстановления изучались во многих работах (см, например, [1]-[5]). Напомним некоторые результаты из работы [6] (см. также работу [7]).

Если $\omega(\zeta)$ – суммируемая функция на границе Γ , то выполняется следующее соотношение двойственности

$$\sup_{f \in B_{\rho(\zeta)}^1} \left| \int_{\Gamma} f(\zeta) \omega(\zeta) d\zeta \right| = \min_{\varphi \in H_1} \int_{\Gamma} \rho(\zeta) |\omega(\zeta) - \varphi(\zeta)| d\varphi, \quad (2)$$

где $\zeta = e^{i\varphi}, 0 \leq \varphi < 2\pi$; H_1 – класс Харди (определение классов Харди см. [8]). Существует экстремальная функция $f^*(z)$ в левой части равенства (2) и экстремальная функция $\varphi^*(z)$ в правой части равенства (2). Причем, функция $\varphi^*(z)$ – единственна, а $f^*(z)$ – единственна с точностью до множителя $e^{i\alpha}$, где α – постоянная константа ($\alpha \in R$). Кроме того, $f^*(z) \in B_{\rho(\zeta)}^1$ и $\varphi^*(z) \in H_1$ являются экстремальными в равенстве (2) тогда и только тогда, когда почти везде на границе Γ выполняется соотношение

$$f^*(\zeta)[\omega(\zeta) - \varphi^*(\zeta)]d\zeta = e^{i\delta} \rho(\zeta) |\omega(\zeta) - \varphi^*(\zeta)| d\varphi, \quad (3)$$

где δ – постоянное число ($\delta \in R$). В работе [6] было доказано, если $\omega(\zeta)$ является граничным значением на границе Γ мероморфной в \bar{K} функции $\omega(z)$ с полюсами β_1, \dots, β_m (каждый полюс повторен столько раз, какова его кратность), то функция

$$R(z) = f^*(z)[\omega(z) - \varphi^*(z)] \quad (4)$$

является аналитической функцией (за исключением полюсов) вплоть до границы Γ и имеет в \bar{K}

$$v = m - 1 \quad (5)$$

нулей $\alpha_1, \dots, \alpha_{m-1}$; ($|\alpha_k| \leq 1, k = 1, \dots, m - 1$). Кроме того, в работе [6] доказано (см. (4))

$$R(z) = C \frac{\prod_{j=1}^{m-1} (z - \alpha_j)(1 - \bar{\alpha}_j z)}{\prod_{j=1}^m (z - \beta_j)(1 - \bar{\beta}_j z)}, \quad (6)$$

где C – некоторая константа,

$$f^*(z) = e^{i\delta} \exp \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln \rho(e^{i\theta}) \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\theta \right] \prod_1^k \frac{z - \alpha_j}{1 - \bar{\alpha}_j z}, \quad (7)$$

где δ – постоянное число ($\delta \in R; |\alpha_j| < 1, j \leq k \leq m - 1$).

2. Нахождение коэффициентов линейного наилучшего метода приближения

Пусть $f^*(z)$ – экстремальная функция задачи (1).

Лемма 1. Экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (1) единственна с точностью до постоянного множителя $e^{i\delta}$ ($\delta \in R$) и является экстремальной функцией следующей задачи

$$\sup_{f \in B_{\rho(\zeta)}^1} \left| f'(\xi) - \sum_{k=1}^n c_k f(z_k) \right| = r_1(\xi, z_1, \dots, z_n), \quad (8)$$

где $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод приближения. Экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (1) имеет либо n нулей, совпадающими с точками z_1, \dots, z_n , либо $n+1$ нулей – z_1, \dots, z_n, a (здесь $|a| < 1$).

Доказательство. Так как $|f^{*'}(\xi)| = r_1(\xi, z_1, \dots, z_n)$, то понятно, что функция $f^*(z)$ является экстремальной функцией задачи (8) (см. (1)).

Перепишем равенство (8) в следующем виде

$$\sup_{f(z) \in B_{\rho(\zeta)}^1} \left| \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(\zeta)}{(\zeta - \xi)^2} d\zeta - \sum_{k=1}^n \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{c_k f(\zeta)}{\zeta - z_k} d\zeta \right| = r_1(\xi, z_1, \dots, z_n). \quad (9)$$

Или (см. левую часть (2))

$$\sup_{f(z) \in B_{\rho(\zeta)}^1} \left| \int_{\Gamma} \omega(\zeta) f(\zeta) d\zeta \right| = r_1(\xi, z_1, \dots, z_n), \quad (10)$$

где (см. (9))

$$\omega(\zeta) = \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(\zeta - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{\zeta - z_k} \right). \quad (11)$$

Так как экстремальная функция задачи (10) единственна с точностью до постоянного множителя по модулю равного единице, то экстремальная функция задачи (1) единственна с точностью до множителя $e^{i\delta}$ ($\delta \in R$); (см. введение). Далее, так как функция $R(z)$ (см. (4)); (здесь $\varphi^*(z)$ является экстремальной функцией в правой части равенства (2) при соответствующей функции $\omega(\zeta)$) является мероморфной функцией с единственным полюсом ξ второго порядка, то (см. (5)) она имеет единственный нуль; обозначим его через “а” ($|a| \leq 1$). Этот нуль (в дальнейшем нуль а называем “дополнительный” нуль), либо принадлежит экстремальной функции $f^*(z)$ задачи (1), либо функции $\omega(z) - \varphi^*(z)$. Отсюда и вытекает, что экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (1) имеет либо n нулей, совпадающих с точками z_1, \dots, z_n , либо $n+1$, совпадающими с точками z_1, \dots, z_n, a . Лемма доказана.

Обозначим через

$$B(z) = \prod_{k=1}^n \frac{z - z_k}{1 - \bar{z}_k \cdot z} \quad (12)$$

конечное произведение Бляшке,

$$Q(z) = \exp \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln \rho(e^{i\theta}) \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\theta \right],$$

$$F(z) = B(z)Q(z). \quad (13)$$

Теорема 1. Линейный наилучший метод приближения $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ единственен. Если выполняется условие

$$\frac{1 - |\xi|^2}{2} |F'(\xi)| < |F(\xi)|, \quad (14)$$

то экстремальная функция задачи (1) обладает $n+1$ нулями и имеет вид

$$f^*(z) = e^{i\delta} Q(z)B(z) \frac{z - a}{1 - \bar{a}z}, \quad (15)$$

где дополнительный нуль “а” находится при помощи формул

$$a = -\frac{\bar{b} - \xi}{1 - \bar{\xi}b}, \quad (16)$$

$$b = \frac{\beta(\xi)}{F(\xi)}, \quad (17)$$

$$\beta(\xi) = F'(\xi) \frac{1 - |\xi|^2}{2}, \quad (18)$$

δ – постоянное число ($\delta \in R$; $|a| < 1$).

Коэффициенты линейного наилучшего метода приближения в этом случае вычисляются по формулам

$$c_k = \frac{F(\xi)(1 - |\xi|^2)^2}{(1 - \bar{a}\xi)^2} \frac{(1 - \bar{a}z_k)^2(|z_k|^2 - 1)}{\prod_{j=1, j \neq k}^n \frac{z_k - z_j}{1 - \bar{z}_j z_k} (z_k - \xi)^2 (1 - \bar{\xi}z_k)^2 Q(z_k)}, \quad (19)$$

где $k = 1, \dots, n$.

Если же выполняется условие

$$|F(\xi)| \leq \frac{1 - |\xi|^2}{2} |F'(\xi)|, \quad (20)$$

то экстремальная функция задачи (1) обладает n нулями, совпадающими с точками z_1, \dots, z_n и имеет вид

$$f^*(z) = e^{i\delta} Q(z)B(z), \quad (21)$$

где δ – действительное постоянное число ($\delta \in R$). Коэффициенты линейного наилучшего метода находятся по формулам

$$c_k = \frac{(1 - |\xi|^2)^2 F(\xi)(z_k - a)(1 - \bar{a}z_k)(|z_k|^2 - 1)}{(\xi - a)(1 - \bar{a}\xi)(z_k - \xi)^2(1 - \bar{\xi}z_k)^2 \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \frac{z_k - z_j}{1 - \bar{z}_j z_k}} Q(z_k) \quad (22)$$

при всех значениях $k = 1, \dots, n$, а дополнительный нуль “а” ($|a| \leq 1$) находится при помощи следующих формул

$$a = \frac{\xi - \bar{b}}{1 - \bar{\xi}\bar{b}}, \quad (23)$$

$$b = \frac{\frac{Q(\xi)}{B(\xi)} e^{i \arg \beta(\xi)}}{|\beta(\xi)| + \sqrt{|\beta(\xi)|^2 - |F(\xi)|^2}}. \quad (24)$$

Доказательство.

1 случай. Рассмотрим случай, когда экстремальная функция $f^*(z)$ имеет $n + 1$ нулей. Тогда (см. (7), (13))

$$f^*(z) = F(z) \cdot \frac{z - a}{1 - \bar{a} \cdot z}$$

является экстремальной функцией задачи (1) ($|a| < 1$).

Равенство (6) в этом случае приобретает вид

$$F(z) \cdot \frac{z - a}{1 - \bar{a} \cdot z} \cdot \left[\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(z - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} \right) - \varphi^*(z) \right] = C_1 \frac{(z - a)(1 - \bar{a} \cdot z)}{(z - \xi)^2(1 - \bar{\xi} \cdot z)^2},$$

где C_1 – некоторое постоянное число. Отсюда

$$\frac{1}{(z - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i \varphi^*(z) = C \frac{(1 - \bar{a} \cdot z)^2}{F(z)(z - \xi)^2(1 - \bar{\xi} \cdot z)^2}. \quad (25)$$

($C = 2\pi i C_1$). Обозначим

$$\Phi(z) = \frac{(1 - \bar{a}z)^2}{F(z)(z - \xi)^2(1 - \bar{\xi}z)^2}. \quad (26)$$

Сначала заметим (см. (25), (26))

$$\operatorname{res}_{z=\xi} \Phi(z) = 0.$$

После этого подсчитаем тот же вычет по известным формулам. Имеем (см. (26))

$$\begin{aligned} \operatorname{res}_{z=\xi} \Phi(z) = 0 &= \lim_{z \rightarrow \xi} \left(\frac{(1 - \bar{a} \cdot z)^2}{F(z)(1 - \bar{\xi} \cdot z)^2} \right)' = \frac{-2 \cdot \bar{a} \cdot F(\xi)(1 - \bar{a} \cdot \xi)(1 - |\xi|^2)^2}{F^2(\xi)(1 - |\xi|^2)^2} - \\ &= \frac{(1 - \bar{a} \cdot \xi)^2(1 - |\xi|^2) \left(F'(\xi)(1 - |\xi|^2) - 2\bar{\xi}F(\xi) \right)}{F^2(\xi)(1 - |\xi|^2)^2}. \end{aligned}$$

Поэтому

$$\begin{aligned} -2 \cdot \bar{a} \cdot F(\xi)(1 - |\xi|^2) &= (1 - \bar{a} \cdot \xi) \left(F'(\xi)(1 - |\xi|^2) - 2\bar{\xi}F(\xi) \right), \frac{\bar{a}}{1 - \bar{a} \cdot \xi} F(\xi)(1 - |\xi|^2) \\ &= \bar{\xi}F(\xi) - F'(\xi) \frac{1 - |\xi|^2}{2}. \end{aligned}$$

Тогда (см. (18))

$$\frac{\bar{a}}{1 - \bar{a} \cdot \xi} (1 - |\xi|^2) = \bar{\xi} - \frac{\beta(\xi)}{F(\xi)}.$$

Откуда (см. (17))

$$\frac{\bar{a}}{1 - \bar{a} \cdot \xi} (1 - |\xi|^2) = \bar{\xi} - b.$$

Отсюда и следует справедливость формулы (16).

Т.к. $|a| < 1$, то и $|b| < 1$. Из формул (17), (18) и вытекает выполнение неравенства (14). То есть, если экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (1) имеет $n + 1$ нулей, то выполняется условие (14). При этом, функция $f^*(z)$ имеет вид (15).

Найдем коэффициенты c_k . Из формулы (25) вытекает

$$C = \frac{F(\xi)(1 - |\xi|^2)^2}{(1 - \bar{a} \cdot \xi)^2}$$

И, значит (см. (25))

$$\frac{1}{(z - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i \varphi^*(z) = \frac{F(\xi)(1 - |\xi|^2)^2}{(1 - \bar{a}\xi)^2} \frac{(1 - \bar{a}z)^2}{F(z)(z - \xi)^2(1 - \bar{\xi}z)^2}$$

Отсюда, подсчитывая вычеты в полюсах z_1, \dots, z_n в левой и в правой части последнего равенства убеждаемся в справедливости формул (19) (см. (12)).

2 случай. Рассмотрим случай, когда экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (1) имеет вид (21) (ее нули совпадают с точками z_1, \dots, z_n). Тогда, $F(z)$ является экстремальной функцией задачи (1) и, значит, выполняется равенство (см. (6))

$$F(z) \cdot \left[\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(z - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} \right) - \varphi^*(z) \right] = C_2 \frac{(z - a)(1 - \bar{a} \cdot z)}{(z - \xi)^2(1 - \bar{\xi} \cdot z)^2}$$

где C_2 – постоянная константа, a – некоторое комплексное число ($|a| \leq 1$). Поэтому

$$\frac{1}{(z - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i \varphi^*(z) = C \frac{(z - a)(1 - \bar{a} \cdot z)}{F(z)(z - \xi)^2(1 - \bar{\xi} \cdot z)^2}, \quad (27)$$

где $C = 2\pi i C_2$.

Обозначим

$$\Phi_1(z) = \frac{(z-a)(1-\bar{a}z)}{(z-\xi)^2(1-\bar{\xi}z)^2 F(z)}. \quad (28)$$

С одной стороны, вычет функции $\Phi_1(z)$ в точке ξ – полюсе второго порядка равен нулю (см. (27), (28)). С другой стороны, применяя известную формулу, мы получаем уравнение

$$0 = ((1 - \bar{a} \cdot \xi) - \bar{a}(\xi - a))(1 - |\xi|^2)F(\xi) - (\xi - a)(1 - \bar{a} \cdot \xi) (F'(\xi)(1 - |\xi|^2) - 2\bar{\xi}F(\xi)).$$

Следовательно

$$\frac{-2\bar{a}\xi + 1 + |a|^2}{(\xi - a)(1 - \bar{a} \cdot \xi)} = \frac{-2\bar{\xi}F(\xi) + (1 - |\xi|^2)F'(\xi)}{(1 - |\xi|^2)F(\xi)}. \quad (29)$$

Введем новую переменную. Пусть

$$a = \frac{\xi - \bar{b}}{1 - \bar{\xi}\bar{b}},$$

где $|b| \leq 1$ (переменная b не связана с той переменной, которая применялась в первом случае и имела то же самое обозначение). Нетрудно убедиться в справедливости следующих равенств

$$-2\bar{a}\xi + 1 + |a|^2 = \frac{(1 - |\xi|^2)}{|1 - \bar{\xi}b|^2} (|b|^2 - 2\bar{\xi}\bar{b} + 1), (\xi - a)(1 - \bar{a}\xi) = \frac{\bar{b}(1 - |\xi|^2)^2}{|1 - \bar{\xi}b|^2}.$$

Подставляя последние два уравнения в уравнение (29), получим

$$\frac{|b|^2 + 1}{\bar{b}} = \frac{2\beta(\xi)}{F(\xi)}. \quad (30)$$

Найдем неизвестное число b . Для этого определим отдельно его модуль и отдельно его аргумент. Из равенства (30) вытекает

$$\frac{|b|^2 + 1}{|b|} = 2 \frac{|\beta(\xi)|}{|F(\xi)|}.$$

Решая последнее уравнение, получим два значения:

$$|b| = \frac{|\beta(\xi)| + \sqrt{|\beta(\xi)|^2 - |F(\xi)|^2}}{|F(\xi)|}$$

и

$$|b| = \frac{|\beta(\xi)| - \sqrt{|\beta(\xi)|^2 - |F(\xi)|^2}}{|F(\xi)|}.$$

Так как в рассматриваемом случае

$$|\beta(\xi)| \geq |F(\xi)|, \quad (31)$$

то первое число не подходит. Действительно, оно больше или равняется одному. Второе подходит. Итак

$$|b| = \frac{|F(\xi)|}{|\beta(\xi)| + \sqrt{|\beta(\xi)|^2 - |F(\xi)|^2}}. \quad (32)$$

После этого найдем аргумент числа b . Из равенства (30) вытекает

$$e^{i \arg b} = e^{-i \arg F(\xi)} e^{i \arg \beta(\xi)}.$$

Следовательно (см. (32))

$$b = \frac{|F(\xi)|}{|\beta(\xi)| + \sqrt{|\beta(\xi)|^2 - |F(\xi)|^2}} e^{-i \arg F(\xi)} e^{i \arg \beta(\xi)} = \frac{\overline{Q(\xi)} \overline{B(\xi)} e^{i \arg \beta(\xi)}}{|\beta(\xi)| + \sqrt{|\beta(\xi)|^2 - |F(\xi)|^2}}.$$

Заметим, из неравенства (31) вытекает условие (20). Итак, если экстремальная функция $f^*(z)$ имеет $n+1$ нулей, то выполняется условие (14), а если имеет n нулей, то выполняется условие (20). Обратно, если выполняется условие (14), то экстремальная функция задачи (1) имеет $n+1$ нулей, а если выполняется условие (20), то экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (1) имеет n нулей. Далее, вычислим коэффициенты линейного наилучшего метода приближения. Умножим левую и правую часть равенства (27) на $(z - \xi)^2$, а потом в левой и в правой части положим $z = \xi$. Получим

$$C = \frac{(1 - |\xi|^2)^2 F(\xi)}{(\xi - a)(1 - \bar{a}\xi)}.$$

Отсюда (см. (27))

$$\frac{1}{(z - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i \varphi^*(z) = \frac{(1 - |\xi|^2)^2 F(\xi)}{(\xi - a)(1 - \bar{a}\xi)} \frac{(z - a)(1 - \bar{a}z)}{(z - \xi)^2 (1 - \bar{\xi}z)^2 \prod_{j=1, j \neq k}^n \frac{z - z_j}{1 - \bar{z}_j z} \frac{z - z_k}{1 - \bar{z}_k z}} Q(z).$$

Найдем вычеты в левой и в правой частях последнего равенства в точке z_k . Получим

$$-c_k = \frac{(1 - |\xi|^2)^2 F(\xi) (z_k - a)(1 - \bar{a}z_k)(1 - |z_k|^2)}{(\xi - a)(1 - \bar{a}\xi) (z_k - \xi)^2 (1 - \bar{\xi}z_k)^2 \prod_{j=1, j \neq k}^n \frac{z_k - z_j}{1 - \bar{z}_j z_k}} Q(z_k)$$

при всех $k = 1, \dots, n$. Отсюда и вытекает справедливость формул (22).

В заключение теоремы убедимся в том, что линейный наилучший метод приближения единственен. Во-первых, это понятно из формул (19) и (22), по которым находятся коэффициенты c_k ($k = 1, \dots, n$) линейного наилучшего метода приближения. Можно убедиться в том, что линейный наилучший метод единственен, применяя соотношение (3). В самом деле. Пусть $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод приближения, коэффициенты которого вычисляются по формулам (19) или (22). Сначала заметим

$$c_k \neq 0 \quad (33)$$

при всех значениях $k = 1, \dots, n$. Кроме того, в этом случае выполняется соотношение (3), в котором функция $\omega(\zeta)$ имеет вид (11), а функция $\varphi^*(z)$ является экстремальной функцией в правой части (2). Предположим, что имеется другой линейный наилучший метод $\sum_{k=1}^n \hat{c}_k f(z_k)$. Тогда выполняется следующее соотношение

$$f^*(\zeta) [\omega_1(\zeta) - \varphi_1^*(\zeta)] d\zeta = e^{i\delta_1} \rho(\zeta) |\omega_1(\zeta) - \varphi_1^*(\zeta)| d\varphi, \quad (34)$$

где

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(\zeta - \xi)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{\hat{c}_k}{\zeta - z_k} \right), \quad (35)$$

δ_1 – действительное постоянное число, а $\varphi_1^*(\zeta)$ – экстремальная функция в правой части соотношения двойственности (2) при соответствующей функции $\omega(\zeta)$, (совпадающей с функцией $\omega_1(\zeta)$). Обозначим

$$P(z) = e^{i\delta_2} \frac{\omega_1(z) - \varphi_1^*(z)}{\omega(z) - \varphi^*(z)},$$

где $\delta_2 = \delta_1 - \delta$. Так как функции $R(z) = f^*(z)[\omega(z) - \varphi^*(z)]$ и $R_1(z) = f^*(z)[\omega_1(z) - \varphi_1^*(z)]$ имеют только по одному дополнительному нулю "а", который находится однозначным образом (см. (16)-(18) и (23)-(24))

$$\lim_{z \rightarrow \xi} P(z) = e^{i\delta_2} \lim_{z \rightarrow \xi} \frac{(z - \xi)^2 [\omega_1(z) - \varphi_1^*(z)]}{(z - \xi)^2 [\omega(z) - \varphi^*(z)]} = e^{i\delta_2}, \quad (36)$$

$$\lim_{z \rightarrow z_k} P(z) = e^{i\delta_2} \frac{\hat{c}_k}{c_k} \quad (37)$$

(при всех $k=1, \dots, n$), то функция $P(z)$ аналитична вплоть до границы Γ . Так как $P(\zeta) \geq 0$ при всех значениях $\zeta \in \Gamma$ (см. (3), (34)), то $P(z) = C_3$ (C_3 – константа; $C_3 > 0$) при всех значениях $z \in \bar{K}$. Поскольку $P(\xi) = e^{i\delta_2}$ (см. (36)), то $P(z) = 1$ при всех значениях $z \in \bar{K}$. Отсюда и вытекает (см. (37)) $\hat{c}_k = c_k$ ($k = 1, \dots, n$). То есть, линейный наилучший метод приближения единственен. Теорема доказана.

Список литературы

1. *Осипенко К.Ю.* Наилучшее приближение аналитических функций по информации об их значениях в конечном числе точек. //Математические заметки. 1976. Т. 19. №1. С. 29-40.
2. *Micchelli C., Rivlin T.*, 1982, «Lectures on optimal recovery- C. Micchelli, T. Rivlin Lect. Notes». v. 9, pp. 21-93.
3. *Осипенко К.Ю., Стесин М.И.* О задачах восстановления в пространствах Харди и Бергмана. Матем. заметки, 1991, том 49, выпуск 4, 95-104.
4. *Акопян Р.Р.* Оптимальное восстановление аналитической функции по заданным с погрешностью граничным значениям /Р.Р. Акопян //Математические заметки. -2016. – Т. 99, вып. 2. – С. 163-170.
5. *Магарил-Ильяев Г.Г.* О наилучших методах восстановления производных на Соболевских классах/Г.Г. Магарил-Ильяев, К.Ю. Осипенко// Изв. РАН. Сер. Матем. -2014.- Т. 78, вып. 6.- С. 83-102.
6. *Хавинсон С.Я.* Основы теории экстремальных задач для ограниченных аналитических функций и их различные обобщения. –М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1981 г., -92 с.
7. *Rogosinski W.W., Schapiro H.* On certain extremum problems for analytic functions. Acta Math., 1954, vol. 90, no. 3, pp. 287-318.
8. *Гарнет Дж.* Ограниченные аналитические функции. Москва «Мир», 1984.

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

05.13.11

¹В.Ю. Мельцов канд. техн. наук, ¹А.К. Крутиков, ²В.Д. Подковырин

Вятский государственный университет,
¹кафедра электронных вычислительных машин,
²кафедра физического воспитания,
Киров, meltsov@vyatsu.ru, yadrodisk@yandex.ru

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ПРИ
ПРОГНОЗИРОВАНИИ БОКСЕРСКОГО ПОЕДИНКА ЗА ТИТУЛ ЧЕМПИОНА МИРА
ПО ВЕРСИИ WBC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LVQ-СЕТИ**

В статье описываются особенности формирования обучающей выборки при осуществлении прогнозирования второго титульного боксерского поединка между Деонтеем Уайлдером и Тайсоном Фьюри. В качестве инструмента прогнозирования предлагается использовать нейронную сеть векторного квантования сигналов. Приведена структура сети и непосредственные результаты прогноза. Описан тестируемый прототип системы спортивного прогнозирования на основе нейронных сетей, смоделированный в программной среде MATLAB.

Ключевые слова: прогнозирование; нейронная сеть векторного квантования; профессиональный бокс; обучающая выборка

Профессиональный бокс – глубоко коммерциализированная сфера мирового спорта. История профессионального бокса включает в себя более сотни лет, в течение которых формировалась современная его индустрия. В отличие от олимпийского бокса, каждый спортсмен-профи является своего рода проектом, которого сопровождает целый ряд специалистов. Планирование и прогнозирование, для специалистов сферы профессионального бокса, играет важную роль в подготовке и проведении поединков. Команда, которая наилучшим образом спланировала и осуществила подготовку, провела тренировочный лагерь, имеет большие шансы на успех, как непосредственно спортивный, так и итоговый – коммерческий.

Конкуренция в профессиональном боксе, это не только конкуренция между боксерами и их тренерами, это еще и борьба промоутеров и менеджеров, организационных и тренировочных «команд» каждого спортсмена. Для победы в этом условном противостоянии, как и в любом современном конкурентном действии, необходимо использовать новейшие достижения науки и техники. Одна из наиболее динамично развивающихся технических областей – это область искусственного интеллекта. Средства искусственного интеллекта позволяют производить прогнозы в различных областях, в том числе и в профессиональном спорте [1]. Одним из таких средств являются искусственные нейронные сети [2].

В данной работе описывается методика подготовки обучающей выборки для осуществления прогноза в боксерских поединках. В качестве примера используется бой за титул чемпиона мира по версии WBC между Деонтеем Уайлдером и Тайсоном Фьюри [3]. Основным инструментом системы прогнозирования выбрана нейронная сеть векторного квантования сигналов (LVQ-сеть). Специалистами лаборатории «Интеллектуальные системы» им. В.А. Байкова Вятского государственного университета ранее был разработан прототип системы для спортивного прогнозирования, в основе одного из модулей которой, применяется LVQ-сеть [4,5]. Модуль реализован в программной среде MATLAB с использованием пакета Neural Networks Toolbox.

Структура LVQ-сети представлена на рисунке 1.

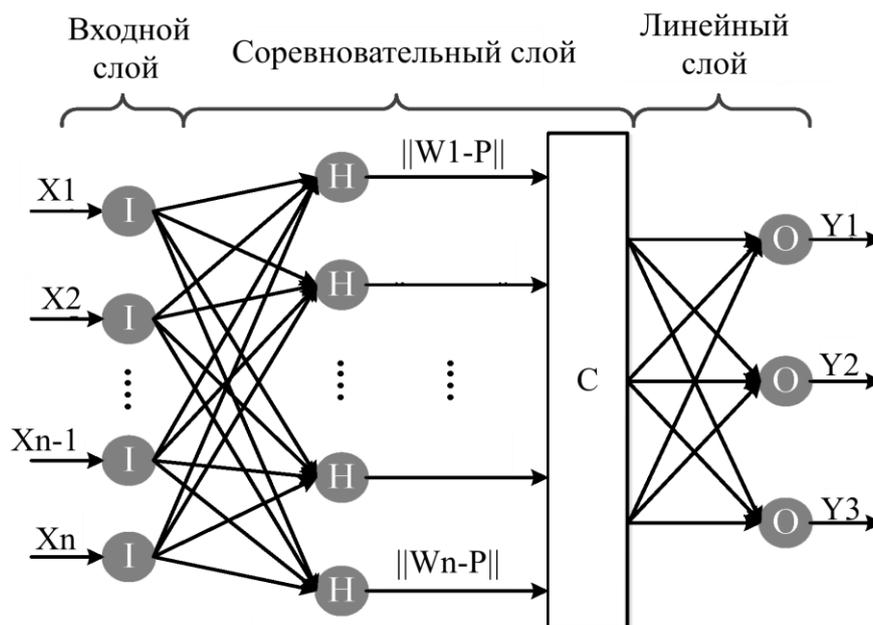


Рис. 1 – Структура LVQ-сети

С использованием данного модуля проведен ряд тестовых экспериментов [4,5,6], включая прогнозирование исходов спортивных единоборств. Результаты экспериментов наглядно показали, что главным фактором, влияющим на быстродействие системы и точность прогнозов, является качество формирования обучающей выборки [7]. На основе проведенных тестов было принято решение, что при формировании выборки для прогнозирования результатов спортивных единоборств эффективнее всего использовать математический аппарат векторного анализа. Тогда, исход каждого поединка принимается как некоторый класс, имеющий свой уникальный номер. Например, победа одного из бойцов может быть обозначена как класс №1, поражение – класс №2, ничья – класс №3 (Рис.1.) Таким образом, значение «1» на выходе Y1 будет означать, что результатом прогноза будет являться класс №1, то есть победа определенного боксера. Аналогично, Y2 и Y3 будут соответствовать классам №2 и №3.

Обучающая выборка формируется по следующему принципу:

- Выборка представлена в виде массива векторов, каждый вектор при этом соответствует одному бою, проведенному в профессиональной карьере спортсмена.

- Элементами вектора являются вещественные числа, которые соответствуют показателям спортсменов перед боем. Основными показателями должны быть: индивидуальная статистика боёв; антропометрические данные боксёра; стиль или специфика ведения боя, преобразованная в числовое значение; традиционная стойка боксёра; а также физиологические показатели соперника на момент боя (если тренерскому штабу удастся достать данную информацию). В рассматриваемом примере – бое за звание чемпиона мира по версии WBC между Деонтеем Уайлдером и Тайсоном Фьюри, в вектор были включены статистические данные, взятые из открытых источников [3], антропометрические данные боксеров, предпочитаемые боксёрами стили, а также количество боёв, которые соперники закончили нокаутами (в том числе, техническими). Условно, вектор состоит из двух частей – показатели первого спортсмена и аналогичные показатели второго спортсмена в один и тот же период времени (перед боем).

- Результирующий, эталонный вектор, по которому и будет происходить обучение, включает в себя номера классов, в соответствии с исходом боя. Каждому элементу результирующего вектора, в обучающей выборке будет соответствовать определенный вектор.

Исход боя спрогнозирован с использованием различных алгоритмов обучения LVQ-сети и при вариации структур LVQ-сети (точнее, LVQ1-сети). Результаты прогнозирования представлены в таблице 1. Выходной вектор (1,0,0) означает победу первого боксера (Деонтея Уайлдера), вектор (0,1,0) – победу второго боксера (Тайсона Фьюри), вектор (0,0,1) – ничью.

Имея в настоящее время результат реального поединка [3], можно сказать, что прогноз на основе сформированной обучающей выборки был определен абсолютно верно для всех вариантов нейросети.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

Структура LVQ1, нейроны конкурентного слоя	Прогноз
10	(0,1,0)
33	(0,1,0)
100	(0,1,0)
200	(0,1,0)
300	(0,1,0)
400	(0,1,0)

Составляя обучающие выборки по предложенному принципу, дополняя их известными параметрами и значениями на момент боя, можно получать наиболее высокую степень точности прогноза. Данным типом прогнозирования могут пользоваться как тренерские штабы спортсменов, так и штат менеджеров, промоутеров и организаторов боёв.

Прототип системы прогнозирования на данный момент продолжает тестироваться на различных видах спортивных событий. Специфика типа прогноза и длительность временного интервала определяют различия в структуре нейронной сети и сложности при формировании качественной обучающей выборки.

Список литературы

1. Бурева В.К., Стоянов Е.И. Применение методов искусственного интеллекта в спорте - Актуальные вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2015 г.). Пермь: Зебра, 2015. С. 1-12.
2. Ясницкий Л.Н., Павлов И.В., Черепанов Ф.М. Прогнозирование результатов Олимпийских игр 2014 года в неофициальном командном зачете методами искусственного интеллекта - Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11206> (дата обращения: 29.03.2020).
3. Деонтей Уайлдер – Тайсон Фьюри 2 URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Деонтей_Уайлдер_—_Тайсон_Фьюри_II (дата обращения: 29.03.2020).
4. Мельцов В.Ю., Крутиков А.К., Долженкова М.Л., Чистяков Г.А., Подковырин В.Д. Применение нейросетевых алгоритмов кластерного анализа при решении задач прогнозирования спортивных событий // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №12. 250-252 с.
5. Крутиков А.К. Особенности обучения нейронной сети векторного квантования при разработке специализированного программного модуля // Южно-Сибирский научный вестник. 2019. № 2. с. 150-154.
6. Крутиков А.К., Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д. Разработка и модификация модульной структуры системы прогнозирования спортивных результатов // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 11-1. – С. 72-76.
7. Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д., Клюкин В.Л., Крутиков А.К. Использование каскадной нейронной сети прямой передачи для прогнозирования спортивных достижений в толкании ядра // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 4. С. 136-139.

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

05.13.18

А.С. Андреев д-р физ.-мат. наук, Е.В. Дороговцева, Е.М. Рябова

Ульяновский государственный университет,
факультет математики, информационных и авиационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, asa5208@mail.ru

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ТЯЖЕЛОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ

В работе предлагается новый подход к управлению движением твердого тела с неподвижной точкой в однородном поле сил тяжести, без измерения скоростей. Решаются задачи о стабилизации произвольного положения и стационарного движения твердого тела. Актуальность задачи состоит в ее применении для управления схватом антропоморфного робота со сферическим шарниром.

Ключевые слова: *тяжелое твердое тело, стабилизация движения, синтез управления.*

Несмотря на многочисленные исследования [1-5] по разработке математических методов конструирования структур управления вращательным движением твердого тела с неподвижной точкой, проводимые с 60-х годов прошлого века, такие исследования остаются актуальными. К числу актуальных задач относятся работы по управлению движением твердого тела с неподвижной точкой без измерения скоростей [1, 2, 6].

Целью настоящей работы является решение задачи управления движением тяжелого твердого тела с неподвижной точкой в нелинейной нестационарной постановке, при измерении только координат его положения.

Пусть O – неподвижная точка твердого тела, $OXYZ$ – неподвижная система координат, ось OZ которой направлена вертикально вверх, $Oxuz$ – система координат, неизменно связанная с телом и образуемая главными осями инерции тела Ox, Oy, Oz с моментами инерции A, B и C, m – масса тела, (x_c, y_c, z_c) – координаты центра масс тела в системе $Oxuz$.

Положение твердого тела будем обозначать углами Эйлера ψ, θ, φ , образуемыми системой $Oxuz$ относительно $OXYZ$. В этих компонентах находим соответственно кинетическую и потенциальную энергии тела

$$2T = A(\dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi)^2 + B(\dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi)^2 + C(\dot{\psi} \cos \theta + \dot{\varphi})^2,$$

$$\Pi = mg(x_c \sin \varphi \sin \theta + y_c \cos \varphi \sin \theta + z_c \cos \theta).$$

Движение тела описывается уравнениями Лагранжа

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) &= M_\psi, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} &= -\frac{\partial \Pi}{\partial \theta} + M_\theta, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} + M_\varphi, \end{aligned}$$

где $M_\psi, M_\theta, M_\varphi$ – управляющие моменты, соответствующие углам ψ, θ, φ .

Заметим, что координата ψ является циклической. Введем циклический импульс по переменной ψ :

$$\begin{aligned} p = \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) &= A(\dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi) \sin \theta \sin \varphi \\ &+ B(\dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi) \sin \theta \cos \varphi + C(\dot{\psi} \cos \theta + \dot{\varphi}) \cos \theta \end{aligned}$$

и соответствующую функцию Рауса

$$\begin{aligned}
 R &= T - p\dot{\psi} = R_2 + R_1 + R_0, \\
 R_2 &= \frac{1}{2}(A \cos^2 \varphi + B \sin^2 \varphi)\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C\dot{\varphi}^2 - \\
 &\quad - \frac{1}{2} \frac{((A - B) \sin \theta \sin \varphi \cos \varphi \dot{\theta} + C \dot{\varphi} \cos \theta)^2}{A \sin^2 \theta \sin^2 \varphi + B \sin^2 \theta \cos^2 \varphi + C \cos^2 \theta}, \\
 R_1 &= \frac{((A - B) \sin \theta \sin \varphi \cos \varphi \dot{\theta} + C \dot{\varphi} \cos \theta)}{A \sin^2 \theta \sin^2 \varphi + B \sin^2 \theta \cos^2 \varphi + C \cos^2 \theta} p\dot{\psi}, \\
 R_0 &= -\frac{1}{2} \frac{p\dot{\psi}^2}{A \sin^2 \theta \sin^2 \varphi + B \sin^2 \theta \cos^2 \varphi + C \cos^2 \theta}.
 \end{aligned}$$

Движение тела можно определить уравнениями Рауса:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial R}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial R}{\partial \theta} &= M_\theta - \frac{\partial \Pi}{\partial \theta}, \\
 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial R}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial R}{\partial \varphi} &= M_\varphi - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}, \\
 \frac{dp_\psi}{dt} &= M_\psi, \dot{\psi} = -\frac{\partial R}{\partial p_\psi}.
 \end{aligned}$$

В настоящей работе рассматриваются следующие две задачи о стабилизации движений тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки без измерений скоростей.

Задача 1. О стабилизации заданного положения тел, определенного равенствами

$$\dot{\psi} = \dot{\theta} = \dot{\varphi} = 0; \psi = \psi_0; \theta = \theta_0 \neq 0, \pi; \varphi = \varphi_0 \tag{1}$$

Задача 2. О стабилизации заданного установившегося (стационарного) вращательного движения

$$\begin{aligned}
 \dot{\theta} = \dot{\varphi} = 0; \theta = \theta_0 = const; \theta_0 \neq 0, \pi; \varphi = \varphi_0 = const \\
 \dot{\psi}(t) = \dot{\psi}_0 = const, p_\psi = p_\psi^0 = \dot{\psi}_0(A \sin^2 \theta_0 \sin^2 \varphi_0 + B \sin^2 \theta_0 \cos^2 \varphi_0 + \\
 + C \cos^2 \theta_0)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Решение задачи 1.

Выберем управление в виде

$$\begin{aligned}
 M_\varphi &= mgx_c(\cos(\varphi - \varphi_0) \cos(\theta - \theta_0) \cos \varphi_0 \sin \theta_0 - \\
 &\quad - \sin(\varphi - \varphi_0) \sin(\theta - \theta_0) \sin \varphi_0 \cos \theta_0) - mgy_c \cdot \\
 &\quad \cdot (\cos(\varphi - \varphi_0) \cos(\theta - \theta_0) \sin \varphi_0 \sin \theta_0 + \sin(\varphi - \varphi_0) \cdot \\
 &\quad \cdot \sin(\theta - \theta_0) \cos \varphi_0 \cos \theta_0) - k_1 \sin(\varphi - \varphi_0) + \\
 &\quad + \mu_1 \cos(\varphi - \varphi_0) \int_0^t g_1(t, \tau) \sin(\varphi(\tau) - \varphi_0) d\tau, \\
 M_\theta &= mgx_c(\cos(\varphi - \varphi_0) \cos(\theta - \theta_0) \sin \varphi_0 \cos \theta_0 - \\
 &\quad - \sin(\varphi - \varphi_0) \sin(\theta - \theta_0) \cos \varphi_0 \sin \theta_0) + mgy_c \cdot \\
 &\quad \cdot (\cos(\varphi - \varphi_0) \cos(\theta - \theta_0) \cos \varphi_0 \cos \theta_0 + \sin(\varphi - \varphi_0) \cdot \\
 &\quad \cdot \sin(\theta - \theta_0) \sin \varphi_0 \sin \theta_0) + mgz_c \sin \theta_0 \cos(\theta - \theta_0) \\
 &\quad - k_2 \sin(\theta - \theta_0) + \mu_2 \cos(\theta - \theta_0) \int_0^t g_2(t, \tau) \sin(\theta(\tau) - \theta_0) d\tau, \\
 M_\psi &= -k_3 \sin(\psi - \psi_0) + \mu_3 \cos(\psi - \psi_0) \int_0^t g_3(t, \tau) \sin(\psi(\tau) - \psi_0) d\tau,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где параметры обратной связи $k_e, \mu_e, g_e(t, \tau)$ удовлетворяют соотношениям

$$\begin{aligned}
p_e(t, \tau) &= k_e - s_e - \mu_e \int_0^t g_e(t, \tau) d\tau \geq p_{10} > 0, \mu_e > 0, e = 1, 2, 3 \\
p_1(t)(p_2(t) - mgz_c \cos \theta_0) - (s_1 + s_4)^2 &\geq p_{20} > 0 \\
g_e(t, \tau) \geq 0, \frac{\partial g_e(t, \tau)}{\partial t} \leq 0, g_e(t, \tau) + \int_0^t \frac{\partial g_e(t, \tau)}{\partial t} d\tau &\geq 0, e = 1, 2, 3 \\
s_2 = s_1 = mgx_c \sin \theta_0 \sin \varphi_0 + mgy_c \sin \theta_0 \cos \varphi_0, \\
s_2 = s_1 = mgx_c \sin \theta_0 \sin \varphi_0 + mgy_c \sin \theta_0 \cos \varphi_0.
\end{aligned} \tag{4}$$

Используя теорему из [6] и теорему из [7], получаем, что это управление решает задачу о нелокальной стабилизации положения (1) тела.

Решение задачи 2.

Выберем управление в виде

$$\begin{aligned}
M_\varphi &= \frac{\partial(\Pi - R_0)}{\partial \varphi}(\theta_0, \varphi_0, p_\psi^0) - k_1(\varphi - \varphi_0) + \mu_1 \int_0^t g_1(t, \tau)(\varphi(\tau) - \varphi_0) d\tau, \\
M_\theta &= \frac{\partial(\Pi - R_0)}{\partial \theta}(\theta_0, \varphi_0, p_\psi^0) - k_2(\theta - \theta_0) + \mu_2 \int_0^t g_2(t, \tau)(\theta(\tau) - \theta_0) d\tau \\
M_\psi &= -k_3 \operatorname{sign}(p_\psi - p_\psi^0) |p_\psi - p_\psi^0|^\alpha,
\end{aligned} \tag{5}$$

где параметры управления $k_e, \mu_e, g_e(t, \tau), \alpha$ удовлетворяют неравенствам

$$\begin{aligned}
p_1(t) &= k_1 - \frac{\partial^2(\Pi - R_0)}{\partial \theta^2}(\theta_0, \varphi_0, p_\psi^0) - \mu_1 \int_0^t g_1(t, \tau)(\theta(\tau) - \theta_0) d\tau \geq p_{10} > 0, \\
p_2(t) &= k_2 - \frac{\partial^2(\Pi - R_0)}{\partial \varphi^2}(\theta_0, \varphi_0, p_\psi^0) - \mu_2 \int_0^t g_2(t, \tau)(\varphi(\tau) - \varphi_0) d\tau \geq p_{20} > 0, \\
p_1(t)p_2(t) - \left(\frac{\partial^2(\Pi - R_0)}{\partial \theta \partial \varphi}(\theta_0, \varphi_0, p_\psi^0) \right)^2 &\geq p_{30} > 0 \\
\mu_1 > 0, \mu_2 > 0, k_3 > 0, \alpha &\geq 0,
\end{aligned} \tag{6}$$

а функции $g_i(t, \tau)$ – соответствующим условиям из соотношений (4).

В соответствии с утверждениями из [8] заключаем, что это управление решает задачу 2.

Частный случай.

Рассмотрим случай тяжелого твердого тела (не обязательно симметричного) с центром масс на главной оси инерции Oy ($x_c = z_c = 0$), а выбранное положение или движение таково, что ось Oy совпадает с вертикалью и направленно вверх или вниз, так что углы θ и φ имеют соответственно значения $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$; $\varphi_0 = 0, \pi$.

На основании вида управления (2) находим, что задача о стабилизации положения $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$; $\varphi_0 = 0, \pi$; $\psi = \frac{\pi}{2}$ решается управлением

$$\begin{aligned}
M_\varphi &= -k_1 \sin \varphi + \mu_1 \cos \varphi \int_0^t g_1(t, \tau) \sin \varphi(\tau) d\tau, \\
M_\theta &= k_2 \cos \theta - \mu_2 \sin \theta \int_0^t g_2(t, \tau) \cos \theta(\tau) d\tau, \\
M_\psi &= k_3 \cos \psi - \mu_2 \sin \psi \int_0^t g_2(t, \tau) \cos \psi(\tau) d\tau,
\end{aligned}$$

где коэффициенты управления удовлетворяют условиям

$$k_e - s_e - \mu_e \int_0^t g_e(t, \tau) d\tau \geq p_{e0} > 0, \mu_e > 0$$

$$s_1 = s_2 = \pm mg y_c, s_3 = 0.$$

(Знак "+" соответствует верхнему положению, знак "-" – нижнему положению тела.)

Рассмотрим также задачу о стабилизации установившегося (стационарного) вращения тела вокруг вертикальной оси, в котором

$$\dot{\theta} = \dot{\varphi} = 0; \theta_0 = \frac{\pi}{2}; \varphi_0 = 0, \pi; \dot{\psi} = \dot{\psi}_0 = const; p_\psi = p_\psi^0 = \pm B\dot{\psi}_0.$$

На основании условий вида (4) находим, что исследуемая задача решается управлением

$$M_\varphi = -k_1(\varphi - \varphi_0) + \mu_1 \int_0^t g_1(t, \tau)(\varphi(\tau) - \varphi_0) d\tau,$$

$$M_\theta = -k_2\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) + \mu_2 \int_0^t g_2(t, \tau)\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) d\tau,$$

$$M_\psi = -k_3 \operatorname{sign}(p_\psi - p_\psi^0),$$

где параметры управления должны удовлетворять соотношениям

$$k_1 \pm \frac{(p_\psi^0)^2(C - B)}{B^2} - \mu_1 \int_0^t g_1(t, \tau) d\tau \geq k_{10} > 0,$$

$$k_2 \pm \frac{(p_\psi^0)^2(A - B)}{B^2} - \mu_2 \int_0^t g_2(t, \tau) d\tau \geq k_{20} > 0,$$

$$\mu_1 > 0, \mu_2 > 0, k_3 > 0$$

Интегральные ядра g_1 и g_2 удовлетворяют соответствующим неравенствам из (4).

В работе решены задачи о стабилизации установившихся движений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой в нелокальной и нелинейной постановке управлением с изменением только координат.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 18-41-730022 и 19-01-00791).

Список литературы

1. *Burkov I.V.* Asymptotic stabilization of a specified position and of a permanent rotation of a rigid body with and without measuring its velocities // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 1995. Vol. 33. No 2. P. 69–76.
2. *Burkov I.V.* Asymptotic stabilization of the position of a rigid body with fixed point without velocity measurements // *Systems and Control Letters*. 1995. Vol. 25. P. 205–209.
3. *Astolfi I.* Output feedback stabilization of the angular velocity of a rigid body // *Systems and Control Letters*. 1999. Vol. 36. P. 181–192.
4. *Bohn J., Sanyal A.M.* Almost global finite-time stabilization of rigid body attitude dynamics using rotation matrices // *Journal of Robust and Nonlinear Control*. 2015.
5. *Schlanbusch R., Loria A., Nicklasson P.J.* On the stability and stabilization of quaternion equilibria of rigid bodies // *Automatica*. 2012. Vol. 48. No 12. P. 3135–3141.
6. *Андреев А.С., Перегудова О.А.* О стабилизации программных движений голономной механической системы без измерения скоростей // *Прикладная математика и механика*. 2017. Т. 81, Вып. 2. С. 137–153.
7. *Андреев А.С., Перегудова О.А.* Нелинейные регуляторы в задаче о стабилизации положения голономной механической системы // *Прикладная математика и механика*. 2018. Т. 82, Вып. 2. С. 156–176.
8. *Andreev A., Peregudova O.* Volterra Equations in the Control Problem of Mechanical Systems // 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC). P. 298-303. IEEE Xplore.

05.13.18

Асмаа Елсайед

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
Москва, Asmaa_mahdy1991@yhaoo.com

МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОРЯДКА ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ В МОДЕЛИ БЕГЛИ-ТОРВИКА

В работе предлагается для решения уравнения в частных производных второго порядка с дробной производной, в котором порядок дробной производной находится в диапазоне от одного до двух и заранее неизвестен. Предлагаемое решение уравнения основано на разделении переменных (метод Фурье). Эта модель используется для характеристики колебательных процессов в вязкой среде. Дана методика определения порядка дробного производства

Ключевые слова: *производная дробного порядка, вязко-упругость, полимербетон.*

1. Введение

В последнее время дробное исчисление находится в центре внимания многих исследователей в области науки и техники. В этой связи следует упомянуть работу [1], которая является уникальным всесторонним обзором по дробному исчислению и его применению с авторитетным вкладом ведущих мировых экспертов. Прежде всего отметим, что дробные производные по пространству могут быть использованы для моделирования аномальных диффузий или дисперсий, а дробные производные по времени - для моделирования некоторых процессов с "памятью". При моделировании изменения деформационно-прочностных характеристик полимербетона при нагружении приходим к следующей задаче. рассмотрим следующую проблему. В области $D = \{0 \leq x \leq L; 0 \leq t \leq T\}$

$$a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b \cdot D_{ox}^\alpha u + c \cdot D_{ot}^\beta u. \quad (1)$$

Краевые условия:

$$u(0, t) = u(L, t) = 0. \quad (2)$$

Начальные условия:

$$u(x, 0) = \varphi(x); \quad (3)$$

$$u'_t(x, 0) = \psi(x). \quad (4)$$

Здесь, $1 < \alpha < 2$ – порядок дробной производной; $a; b; c$ – некоторые постоянные; $D^\alpha u(x)$ – модельный оператор. Где

$$D^\alpha u(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \frac{d}{dx} \int_0^x \frac{u'(\tau) d\tau}{(x - \tau)^{1-\alpha}}, \quad (1 < \alpha < 2). \quad (5)$$

2. Разделение переменных и уравнение Бегли-Торвика

Решая задачу (1) – (2) – (3) – (4), методом Фурье (разделения переменных). Предположим, что

$$u(x, t) = X(x)T(t) \quad (6)$$

и подставляя из (6) в (1) мы получаем обычное линейное дифференциальное уравнение для $T(t)$, и для $X(x)$ получаем дробное обыкновенное линейное дифференциальное уравнение

$$\begin{aligned} X''(x) + b \cdot D_{ox}^\alpha X(x) + \lambda X(x) &= 0; \\ X(0) &= 0; X(1) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Проблеме идентификации параметра дробной производной в уравнения (1) посвящена работа [1]. В этой работе с помощью метода наименьших квадратов была решена задача об идентификации порядка дробной производной рассматриваемой модели.

В данной работе мы приводим другую и более эффективную методику, по сравнению с изложенной в работе [1] которая основана на теореме существования и единственности решения задачи (1)-(2). Итак, рассмотрим задачу Коши

$$\begin{aligned} &my''(x) + bD^\alpha y + ky = 0; \\ &y(x)|_{x=0} = 0,; y'(x)|_{x=0} = 1. \end{aligned} \tag{8}$$

Где: b – модуль вязкости ПЭС, k – модуль жесткости ПЭС, $m = 1$ – масса гранулы, $y(x)$ – смещение. Уравнение (8) было использовано Bagley и Torvik [2] для решения задачи моделирования демпфирующих свойств различных ВУМ (полимеров, стекол и др.). В работе [2] решение (8), для случая $0 < \alpha < 1$ было вычислено при помощи последовательности рекуррентных ядер и выписано в виде степенного ряда. Но мы решим (8) для случая $1 < \alpha < 2$, проинтегрируем уравнение (8) от 0 до x

$$y'(x) + \frac{b}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x \frac{y'(t)}{(x-t)^{1-\alpha}} dt + k \int_0^x y(t) dt = y'(0) \tag{9}$$

Проинтегрируем (9) еще раз от 0 до x .

$$y(x) + \int_0^x \left[\frac{b}{\Gamma(\alpha)} (x-t)^{\alpha-1} + k(x-t) \right] y(t) dt = x \tag{10}$$

Решение уравнения (10) есть

$$y(x) = y_0(x) + \dots + y(x). \tag{11}$$

Где

$$y_0(x) = x, \tag{12}$$

$$y_n(x) = - \int_0^x \left[\frac{b}{\Gamma(\alpha)} (x-t)^{\alpha-1} + k(x-t) \right] y_{n-1}(t) dt; n = 1, 2, \dots \tag{13}$$

Находя указанные интегралы, получаем, что

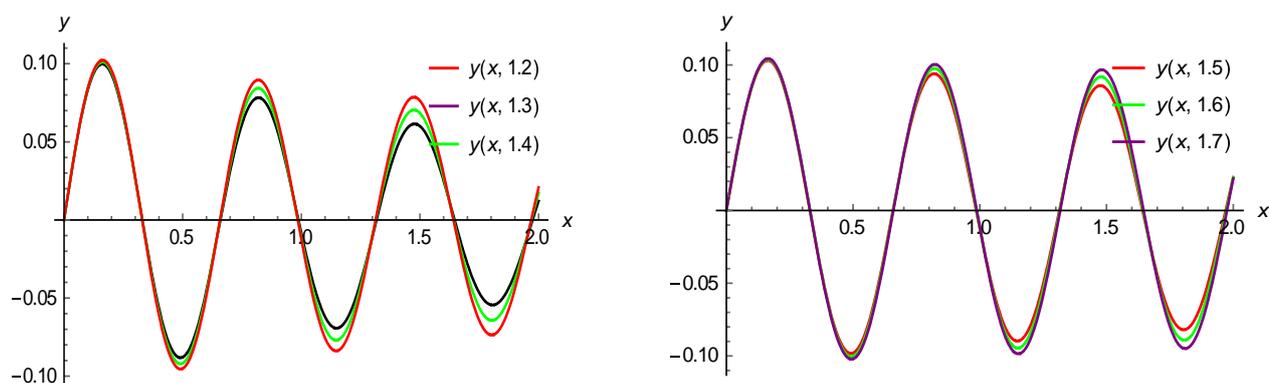
$$y_n(x) = \sum_{q=0}^n \frac{(-1)^n \binom{n}{q} b^q k^{n-q}}{\Gamma(2n+2+q(\alpha-2))} X^{2n+1+q(\alpha-2)}. \tag{14}$$

Тогда

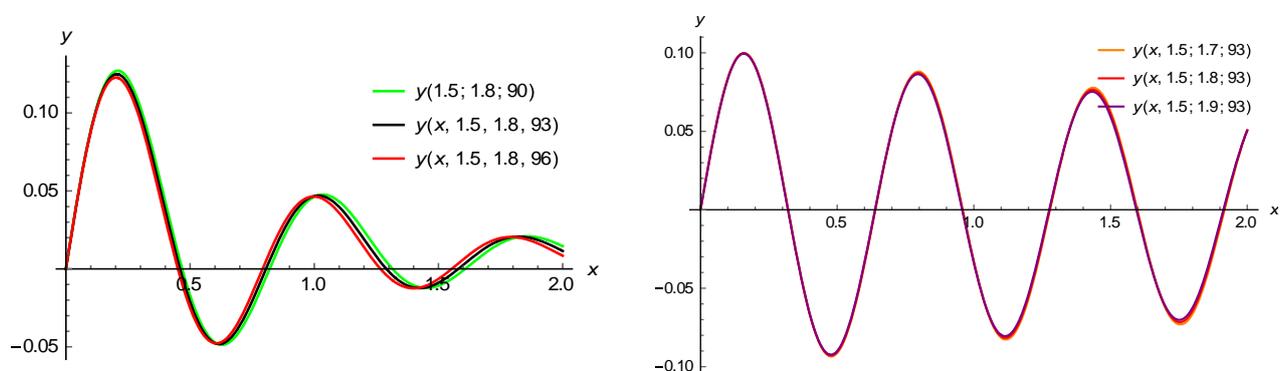
$$y(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{q=0}^n \frac{(-1)^n \binom{n}{q} b^q k^{n-q}}{\Gamma(2n+2+q(\alpha-2))} X^{2n+1+q(\alpha-2)}. \tag{15}$$

3. Численное построение для различных значений параметров

На рис1, приведены графики решения $y(x)$ уравнения (8) при различных значениях параметра (порядка дробной производной) α . Значения остальных параметров (модуль упругости и модуль жесткости системы) при этом взяты со следующими значениями: $b = 1.2$, $k = 89$. Данные значения параметров получены в ходе экспериментов над образцами полимербетона [2].

Рис.1. Графики решений при $1 < \alpha < 2$

На рис 2, приведены графики решения задачи (8) для различных значений параметров b, k .
 $\alpha = 1.5, \quad b = 1.8, \quad k = 90, 93, 96 \quad \alpha = 1.5, \quad b = 1.7, 1.8, 1.9, \quad k = 93$

Рис.2. Графики решения задачи Коши для модели осциллятора с ВУ демпфированием при различных b, k .

Анализ графиков на рисунке показывает, что для определения порядка дробной производной достаточно выбрать интервал, на котором эти графики заведомо не пересекаются. Взяв любую точку из этого интервала, смотрим, чему равно значение решения в этой точке. И это значение сравниваем с экспериментальными данными.

4. Экспериментальные данные и параметрическая идентификация модели

С целью апробации методики возьмем экспериментальные данные [3], полученные в [2]. Значения для образцов полимербетона на основе ПЭС (диан и дихлоангидрид-1,1-дихлор-2,2-диэтилен) представлены в таблице.

Таблица 1. Экспериментальные точки для образцов полимербетона

x_i (с)	0,27	0,4	0,68	1,1	1,3	1,6
U_i	0,06	-0,038	-0,0098	0,018	-0,0097	-0,01

Основная проблема состоит в идентификации порядков дробных производных, чтобы выбрать интервал, где графики соответствующих решений, заведомо не пересекаются, приведем графики решений соответствующих задач при различных значениях порядка дробного дифференцирования (Рис.3).

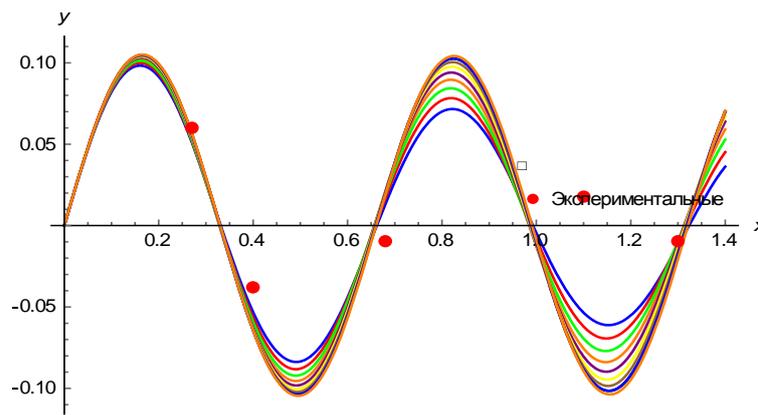


Рис.3. Графики решений соответствующих задач при различных значениях порядка дробного дифференцирования

Из рисунка следует, что за искомый промежуток можно взять интервал $[0.3;0.8]$. Берем любую точку из этого промежутка (в частности, можно взять точку 0,5) и вычисляем значение, полученной экспериментальным путем функции, моделирующего колебания полимербетона. Очевидно, что из нашего последнего рисунка следует, что порядок дробного оператора заключен в промежутке $1 < \alpha < 2$, что хорошо согласуется с нашими экспериментальными данными.

Список литературы

1. Aleroev T., Aleroeva H. Problems of Sturm–Liouville type for differential equations with fractional derivatives.// Fractional Differential Equations. Berlin, Boston: De Gruyter. In A. Kochubei, Y. Luchko (Eds.). 2019. P. 21–46.
2. 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. 2, – p. 04022.
3. Aleroev T.S, Erokhin S.V, Parametric Identification of the Fractional-Derivative Order in the Bagley-Torvik Model Math Models Comput Simul 11:219 (2019) DOI: <https://doi.org/10.1134/S2070048219020030>.

05.13.18

¹Ф.А. Галимянов, ²В.Т. Якупова¹Казанский государственный энергетический университет,
кафедра Информатики и информационно управляющих систем,²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра Информатики и прикладной математики,
Казань, fanisgalimyanov@gmail.com, planeta_1987@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В данной работе мы использовали метод статистического обучения нейронной сети. Здесь мы не рассматриваем эволюцию вектора весовых коэффициентов w , а алгоритм обучения нейронной сети рассматриваем как циклический. Мы оцениваем только отклонение между целевой функцией $f(x)$ и фактической функцией $F(x, w)$, реализованной в нейронной сети. Здесь под вектором x мы понимаем входной сигнал. Это отклонение выражаем в статистических терминах.

Ключевые слова: *статистический метод, нейронная сеть, обучение, детерминированная функция, оператор усреднения.*

Введение. Эмпирические знания (empirical knowledge) о физических явлениях или окружающей среде можно закодировать в нейронной сети при помощи процесса обучения. Под термином "эмпирические знания" подразумевается некий набор измерений, характеризующих данное явление. Чтобы конкретизировать это понятие, рассмотрим случайный вектор X , представляющий собой массив независимых переменных (independent variable), который описывает некоторое стохастическое явление. Также введем зависимую переменную (dependent variable) – случайный скаляр D . Каждый элемент, из которого состоит случайный вектор X , имеет свой физический смысл.

Постановка задачи. Пусть случайные вектор X имеет N реализаций, обозначим их $\{x_i\}_{i=1}^N$, и каждой реализации вектора X соответствует свой случайный скаляр D , обозначим их $\{d_i\}_{i=1}^N$. Вместе они представляют обучающую выборку

$$T = \{(x_i, d_i)\}_{i=1}^N \quad (1)$$

Нам как правило, не известна функциональная взаимосвязь между вектором X и скаляром D , следовательно обратим внимания на модель [1]

$$D = f(X) + \varepsilon \quad (2)$$

здесь $f(\cdot)$ — случайная детерминированная функция, с векторным аргументом; ε — ожидаемая ошибка равная величине «отсутствия информации» корреляции X и D .

Ниже представленная статистическая модель, указанная в выражении (2), является регрессионной (regression model) (рис. 1):

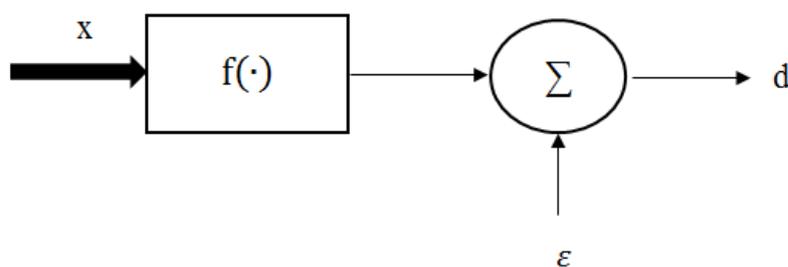


Рис. 1 - Математическое представление нейронной сети

Ожидаемая ошибка ε в общем случае является случайной величиной с нормальным распределением и нулевым математическим ожиданием. Исходя из этого, регрессионная модель на рис. 1 обладает двумя важными свойствами.

1. Среднее значение ожидаемой ошибки ε для любой реализации x равно нулю [2], т.е.

$$E[\varepsilon|x] = 0 \tag{3}$$

где E -статистический оператор математического ожидания. Естественным следствием этого свойства является утверждение о том, что для выходного сигнала D и входного $X = x$ регрессионная функция $f(x)$ является условным средним модели:

$$f(x) = E(D|x)$$

Это свойство непосредственно следует из выражения (2) в свете (3).

2. Между ожидаемой ошибкой ε и функцией регрессии $f(X)$ корреляции не наблюдается [3], т.е.

$$E[\varepsilon f(X)] = 0 \tag{4}$$

Данное свойство очень известно, и называется принципом ортогональности (principle of orthogonality). Из этого принципа следует что, вся совокупность информации о D , полученная через входящий сигнал X , содержится в функции регрессии $f(X)$ [4]. Равенство (4) без труда иллюстрируется следующими выкладками:

$$E[\varepsilon f(X)] = E[E[\varepsilon f(X)|x]] = E[f(X)E[\varepsilon|x]] = E[f(X) \cdot 0] = 0.$$

Регрессионная модель (рис. 1) представляет собой математическое описание стохастической среды. В ней вектор X используется для описания или предсказания зависимой **переменной** D . На рис. 2 представлена соответствующая "физическая" модель данной среды. Эта вторая модель, основанная на нейронной сети, позволяет закодировать эмпирические знания, заключенные в обучающей выборке T , с помощью соответствующего набора векторов синаптических весов w :

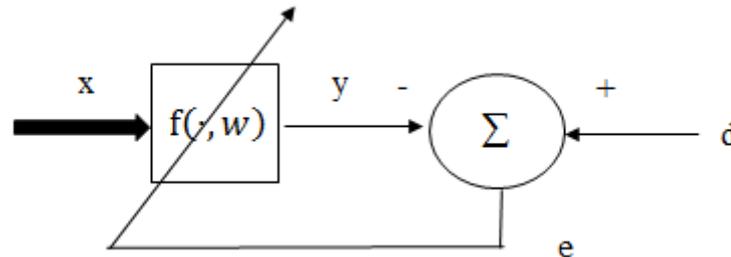


Рис. 2 - Физическое представление нейронной сети

$$T \rightarrow w \tag{5}$$

Таким образом, нейронная сеть обеспечивает аппроксимацию регрессионной модели, представленной на рис. 1. Пусть фактический отклик нейронной сети на вектор входа X , который обозначает следующую вероятностную переменную:

$$Y = F(X, w) \tag{6}$$

здесь $F(\cdot, w)$ — преобразующая функция, которая определяет выходной сигнал, на основе входных данных нейронной сети. Минимизируя функцию стоимости:

$$E(w) = \sum_{i=1}^N (d_i - F(x_i, w))^2 \tag{7}$$

можно вычислить вектор синаптических весов w , для множество (1) представляющая обучающий набор данных T . Функция стоимости $E(w)$ описывает сумму квадратов разностей между желаемым d и фактическим y откликов нейронной сети для всего набора примеров обучения T . Использование соотношения (7) в качестве функции стоимости отражает "пакетный" характер обучения. Это значит, что настройка синаптических весов нейронной сети выполняется для всего массива примеров обучения в целом, а не для каждого примера в отдельности.

Пусть E_T — оператор усреднения (average operator) по всей обучающей выборке T . Переменные, или их функции, обрабатываемые оператором усреднения E_T , обозначим

символами x и d . При этом пара (x, d) представляет каждый конкретный обучающий пример из набора T . На множество всех значений случайных переменных X и D , подмножеством которого является T , функционирует оператор статистического ожидания E , в отличие от оператора усреднения.

Из за изменения, указываемого в выражении (6), функцию $F(x, w)$ можно поменять на $F(x, T)$, соответственно формула (7) может быть представлена в виде

$$E(w) = E_T \left[(d_i - F(x_i, T))^2 \right] \quad (8)$$

Добавляя функцию $f(x)$ к аргументу $(d_i - F(x_i, T))^2$ и вычитая ее, а затем используя (2), получим:

$$d - F(x, T) = (d - f(x)) + (f(x) - F(x, T)) = \varepsilon + (f(x) - F(x, T))$$

Подставляя это выражение в (8) и раскрывая скобки, функцию стоимости можно записать в следующей эквивалентной форме:

$$E(w) = E_T[\varepsilon^2] + E_T \left[(f(x) - F(x, T))^2 \right] + E_T[\varepsilon(f(x) - F(x, T))] \quad (9)$$

Заметим, что последнее слагаемое в правой части формулы (9) равно нулю по двум причинам.

Ожидаемая ошибка ε не коррелирует с регрессионной функцией $f(x)$, что видно из выражения (4), интерпретируемого в терминах оператора E_T .

Ожидаемая ошибка ε относится к регрессионной модели, изображенной на рис. 1, в то время как аппроксимирующая функция $F(x, w)$ относится к нейросетевой модели, показанной на рис. 2.

Следовательно, выражение (9) можно упростить:

$$E(w) = E_T[\varepsilon^2] + E_T \left[(f(x) - F(x, T))^2 \right] \quad (10)$$

Результат. Первое слагаемое в правой части выражения (10) описывает дисперсию ожидаемой ошибки (регрессионного моделирования) ε , вычисленной на обучающей выборке T . Это исходная (intrinsic) ошибка, так как она не зависит от вектора весов w . Ее можно не учитывать, так как главной задачей является минимизация функции стоимости $E(w)$ относительно вектора w . Следует учитывать, что значение вектора весов w , минимизирующее функцию стоимости $E(w)$, будет также минимизировать и среднее по ансамблю квадратичное расстояние между функцией регрессии $f(x)$ аппроксимационной функцией $F(x, w)$. Соответственно функция

$$L_{AV}(F(x), F(x, w)) = E_T \left[(F(x) - F(x, T))^2 \right] \quad (11)$$

является метрикой эффективности использования $F(x, w)$ для предсказания нужного отклика d .

Вывод. Этот результат имеет фундаментальное значение, так как он обеспечивает математическую основу для изучения зависимости между смещением и дисперсией, полученными в результате использования $F(x, w)$ в качестве аппроксимации функции $f(x)$.

Список литературы

1. *Sutton R.S.* Two problems with back-propagation and other steepest-descent learning procedures for networks // Proceedings of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society. – 1986. - Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. - p. 823-831.
2. *Geman S., E. Bienenstock and R. Doursat* Neural networks and the bias/variance dilemma //Neural Computation. – 1992. - vol. 4, p. 1-58.
3. *Gafarov F.M.* Emergence of the small-world architecture in neural networks by activity dependent growth //Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. - 2016. - Vol.461, Is.. - P.409-418.
4. *Галимянов Ф.А.* Сравнительный анализ алгоритмов реализации метода обратного распространения ошибки для обучения нейронной сети // Научно – технический вестник Поволжья. – 2020. - № 2, ст. 69 – 72.

05.13.18

Н.Ю. Жбанова, С.А. Жбанов

Липецкий государственный технический университет,
факультет автоматизации и информатики,
кафедра прикладной математики,
Липецк, zbanoid@gmail.com, pm.lisky@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С САМОПОДОБИЕМ

В статье представлены современные методы фильтрации трафика, такие как алгоритм Бойда и алгоритм Ходрика-Прескотта. Кроме этого описана предложенная авторами модификация алгоритма Бойда. Новый метод предназначен для обнаружения тренда во временных рядах, характеризующихся свойством самоподобия. Предлагаемый подход проиллюстрирован примерами с использованием реальных данных по самоподобному трафику.

Ключевые слова: *временные ряды, самоподобие, методы фильтрации.*

Введение

Цифровизация общества влечет за собой повышение требований к производительности передачи данных в информационных телекоммуникационных системах. Рост числа пользователей приводит к увеличению объема передаваемой информации, что, в свою очередь, может стать причиной возникновения проблемы перегрузки. Учитывая данное обстоятельство, можно сделать вывод об актуальности совершенствования и развития существующих способов моделирования сетевого трафика в целях обеспечения высококачественной передачи информации в телекоммуникационных сетях.

Исследования различных типов сетевого трафика показывают, что сетевой трафик по своей природе является самоподобным. Трафик, обладающий свойством самоподобия, характеризуется зависимостью числа событий на заданном временном интервале от прежних, в том числе весьма отдаленных событий. Важнейшим параметром, характеризующим такую долговременную память в случайном потоке требований, является показатель Хёрста H , по значению которого определяют наличие или отсутствие свойства самоподобия у временного ряда.

Заметим, что стохастические, в том числе самоподобные, шумы оказывают значительное негативное влияние на точность прогнозирования нагрузки (или трафика). Задача повышения точности прогнозирования, как правило, решается с применением алгоритмов трендовой фильтрации.

Алгоритмы фильтрации широко используются для цифровой обработки сигналов, а также для анализа временных рядов и других типов данных. Как правило, задачи фильтрации нацелены на отделение полезной части исследуемого сигнала от шумовой составляющей определенной частоты.

Одно из хорошо развитых направлений фильтрационных задач представлено цифровыми фильтрами, которые отличаются разнообразием типов и классифицируются по свойствам импульсных характеристик, по свойствам частоты пропускаемых составляющих, и т.д. Применяются цифровые фильтры для фильтрации и спектрального анализа акустических сигналов, а также при обработке изображений.

В качестве частного случая задачи фильтрации выделяют задачу сглаживания. При сглаживании, как правило, устраняется высокочастотная компонента временного ряда (шум) и остается низкочастотная (тренд или тенденция). В ряде случаев задача сглаживания сводится к задаче квадратического программирования. К методам сглаживания могут быть отнесены авторегрессия, аппроксимация полиномами и сплайнами, фильтр Калмана, Бакстера-Кинга и многие другие.

В данной статье особое внимание уделяется обзору современных подходов к фильтрации, таких как фильтры Бойда и Ходрика-Прескотта. Целью работы является развитие методов фильтрации данных в направлении анализа самоподобных временных рядов. Объектами исследования являются модели сетевого трафика в современных телекоммуникационных сетях.

1. Задача сглаживания данных

Обозначим исследуемый временной ряд как аддитивную функцию $y_t = x_t + v_t$, где x_t представляет собой систематическую составляющую (или реальное значение сигнала), v_t – случайную составляющую. Задача сглаживания заключается в отсеивании высокочастотных шумов и нахождении по наблюдаемым значениям y_t трендовой составляющей x_t .

Критерий оптимальности может быть записан в обобщенном виде

$$\min_x \|y - x\|_p^p + \lambda \|Dx\|_q^q, \quad (1)$$

где $p \in \mathbb{N}$ и $q \in \mathbb{N}$ – нормы векторов, λ – параметр, подбираемый экспериментально, а матрица D имеет вид:

$$D = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \ddots & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}.$$

В обобщенном критерии (1) возможно использование различных норм. Положив $p = q = 2$, мы получим оптимизационную задачу для фильтра Ходрика-Прескотта, или НР-фильтра [1]:

$$\min \sum_{t=1}^N (y_t - x_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{N-1} (x_{t+1} - 2x_t + x_{t-1})^2, \quad (2)$$

где y_t – исходный временной ряд, x_t – результат, λ – параметр фильтрации.

Первое слагаемое целевой функции (2) отвечает за минимизацию отклонений результата фильтрации от реальных данных. Второе слагаемое обеспечивает гладкость результата. При малых значениях параметра λ оценка x_t практически совпадает с наблюдаемым рядом y_t , а при очень больших приближается к обычному линейному тренду.

Положив в обобщенном критерии $p = 2$, $q = 1$, мы получим критерий оптимальности для фильтра Бойда, или фильтра l_1 [2]:

$$\min \sum_{t=1}^N (y_t - x_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{N-1} |x_{t+1} - 2x_t + x_{t-1}|. \quad (3)$$

Целевая функция l_1 -фильтра отличается от целевой функции НР-фильтра видом второго слагаемого, в котором вместо нормы l_2 берется норма l_1 . Еще одна особенность фильтра Бойда по сравнению с НР-фильтром заключается в том, что его результат представляет собой не гладкую, а кусочно-линейную функцию.

При этом l_1 -фильтр как модификация НР-фильтра наследует часть его свойств; параметр λ также представляет собой неотрицательное число, которое используется для управления количеством изломов (или изгибов) результата фильтрации.

2. Особенности фильтрации временных рядов с самоподобием

Для восстановления систематической составляющей x_t марковских процессов с успехом может быть применен как фильтр Ходрика-Прескотта, так и фильтр Бойда. Однако трафик, характеризующийся свойством самоподобия, имеет свою специфику.

Важнейшим параметром, характеризующим степень самоподобия случайного процесса, является показатель Хёрста [3]. Если выполняется условие $0,5 < H < 1$, то можно сделать вывод о персистентном (поддерживающемся) поведении процесса, либо о том, что процесс обладает длительной памятью. Другими словами, параметр H , близкий к единице, говорит о

том, что для $(i+1)$ -го и для i -го уровня процесса вероятность отклонения от среднего в одну и ту же сторону так же близка к единице. Таким образом, персистентные стохастические процессы обнаруживают четко выраженные тенденции изменения при относительно малом шуме.

Если выполняется условие $0 < H < 0,5$, процесс можно считать антиперсистентным. Для него свойственно чередование уровней, превосходящих среднее значение, и уровней, не достающих до среднего. Иначе говоря, параметр H , близкий к нулю, говорит о том, что для $(i+1)$ -го и для i -го уровня процесса близка к единице вероятность отклонения от среднего в противоположных направлениях.

Если показатель Херста равен 0,5, это свидетельствует о случайном характере отклонений уровней исследуемого процесса от среднего значения, и их независимости от предыстории.

Для анализа процессов с самоподобием могут оказаться перспективными модификации традиционных подходов Бойда и Ходрика-Прескотта. В работе [4] авторы рассмотрели одну из таких модификаций, положив в критерии (1) $p = q = 1$. Тем самым был получен фильтр, который можно считать аналогом метода наименьших модулей. Предположительно, он должен обладать тем же преимуществом, что и МНМ — меньшей чувствительностью к выбросам. Данное свойство может оказаться полезным при фильтрации самоподобных процессов.

Задача оптимизации такого фильтра может быть поставлена в виде

$$\min \sum_{t=1}^N |y_t - x_t| + \lambda \sum_{t=2}^{N-1} |x_{t+1} - 2x_t + x_{t-1}|. \quad (4)$$

Результат применения фильтра (4), как результат применения схожего с ним фильтра Бойда, представляет собой кусочно-линейную функцию.

Заметим, что поиск оптимума целевой функции, содержащей модуль, требует применения алгоритмов оптимизации нулевого порядка, не предполагающих взятия производных. Так, методы линейного программирования были использованы для решения задачи о наименьших модулях. Авторы алгоритма l_1 -фильтрации предлагали для поиска минимума воспользоваться пакетом Matlab cvx, либо прямодвойственным алгоритмом, который был ими адаптирован для решения данной задачи [2]. Для поиска минимума (4) специальные алгоритмы авторами не разрабатывались и были применены стандартные методы оптимизации пакета Scilab.

3. Пример практического применения

Использование предложенной методики фильтрации может быть проиллюстрировано задачей, связанным с анализом реальных данных по входящему трафику, предоставленном ПАО «Ростелеком».

В качестве исследуемых исходных данных выступают информационные потоки автоматизированной системы ЕЦВК Липецкого филиала ПАО «РосТелеком». В качестве выборочных значений случайного процесса измерялось время между поступлением заявок на сетевой интерфейс сервера системы (рис. 1) (зелёная линия).

Был проведен анализ данных на наличие самоподобия, в результате которого удалось установить, что показатель Херста существенно превышает пороговое значение 0,5, как правило, по утрам в будние дни. На графике этот период расположен в промежутке 220–300. На промежутке 300-700 показатель Херста, как правило, снижался, попадая в интервал $0,4 < H < 0,6$.

Таким образом, в связи с тем, что трафик заявок в течение первой половины дня являлся самоподобным, а во второй половине — не являлся, было решено для фильтрации использовать комбинацию из фильтра Бойда (3) и предложенного авторами фильтра (4).

Заметим, что эффективность фильтра (4) подтвердилась серией экспериментов на искусственно сгенерированных данных с различными показателями Херста. Серия более подробно описана в [4]; указано, что для фильтра (4) в случае самоподобных данных с показателем Херста 0,6–0,9 ошибка в среднем составляла на 12 % меньше, чем у фильтров Бойда и Ходрика-Прескотта. На основе этого результата было принято решение об

использовании фильтра (4) на участках трафика с самоподобием.

На рис. 1 представлен график входящих заявок за 24 часа в будний день и результат применения комбинации фильтра (4) (красная линия) и фильтра Бойда (3) (синяя линия). Всего было отфильтровано 45 наборов данных (полтора месяца).



Рис. 1 – Пример использования комбинированного фильтра

В дальнейшем на основе результатов фильтрации планируется построить аналитико-имитационную модель многоканальной системы, позволяющую эффективно поддерживать управленческие решения, направленные на повышение уровня обслуживания при оптимальном распределении ресурсов.

Заключение

Появление новых практических задач, связанных с управлением сложными технологическими процессами, информационно-вычислительными системами, а также интеллектуализация сетей связи и особенно их построение на принципах компьютерных сетей потребовали использования новых методов анализа, отсутствовавших в арсенале классической теории систем обслуживания. Предлагаемая в работе модификация фильтра Бойда позволяет оценить реальные значения сигнала x_t в сильно зашумленных самоподобных данных, что приведет к повышению адекватности моделирования современных телекоммуникационных систем с самоподобным трафиком.

Список литературы

1. Hodrick R.J., Prescott E.C. Postwar U.S. business cycles: An empirical investigation // Money, Credit, and Banking. 1997. Vol. 29, No. 1. P. 1-16.
2. Kim S.-J., Koh K., Boyd S., Gorinevsky D. l_1 Trend Filtering // Society for Industrial and Applied Mathematics. 2009. Vol. 51, No. 2. P. 339-360.
3. Fernández-Martínez M., Sánchez-Granero M., Trinidad Segovia J., Román-Sánchez I. An accurate algorithm to calculate the Hurst exponent of self-similar processes // Phys. Lett. A. 2014. Vol. 378, No. 32-33. P. 2355-2362.
4. Жбанова Н.Ю., Жбанов С.А. Метод наименьших модулей в задаче фильтрации временных рядов // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: труды (ИПУ РАН, 17-19 июня 2019 г.). – Москва, – 2019. – С. 3285-3288

05.13.18

С.А. Соловьев канд. физ.-мат. наук, Л.В. Ахметвалеева канд. техн. наук,
О.В. Соловьева канд. физ.-мат. наук

Казанский государственный энергетический университет,
Казань, solovev.sa@kgeu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ ГАЗА ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

В данной работе предложены модели устройства подачи газа для нужд нефтехимической или энергетической промышленности. Проведено численное моделирование движения газа в созданных моделях. Рассматриваются различные варианты размеров и расположения элементов подачи газа в системе. Анализ результатов расчета позволил определить оптимальные параметры конструкции, обеспечивающие равномерное распределение скорости газа на форсунках устройств подачи газа.

Ключевые слова: химический реактор, устройство подачи газа, численное моделирование, гидродинамический расчет.

В промышленных реакторах нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности часто необходимо использовать крупные газораспределительные устройства, например, для процесса псевдооживления [1-3]. Кроме того, тот же процесс псевдооживления используется для сжигания угля и биомассы [4-8]. Важной проблемой в конструкции аппарата с псевдооживленным слоем является равномерное движение газа по высоте блока. В этом случае можно обеспечить расчетные показатели рассматриваемого процесса равномерно по всем разделам. Таким образом, выбор правильного газораспределительного устройства играет важную роль. Например, в работе [9] было показано, как два разных газораспределительных устройства могут существенно повлиять на эффективность реактора кипящего слоя.

В настоящей работе посредством численного моделирования рассчитано несколько вариантов устройства подачи газа для крупногабаритного аппарата. Определены параметры, обеспечивающие наиболее равномерное распределение скорости газа для всей системы подачи.

Постановка задачи и численное моделирование

Рассмотрим распределитель газ для крупномасштабного промышленного реактора. Пусть реактор имеет форму цилиндрической колонны. Тогда устройство подачи газа будем рассматривать в виде пяти колец диаметром 0.3 м. Диаметр наибольшего кольца 4.9 м, диаметр наименьшего кольца 1.8 м. Пусть это устройство состоит из двух наборов полуколец (рис. 1, а) или четырех наборов секторов (рис. 1, б). Такое разделение на части связано с условиями надежности и возможности монтажа.

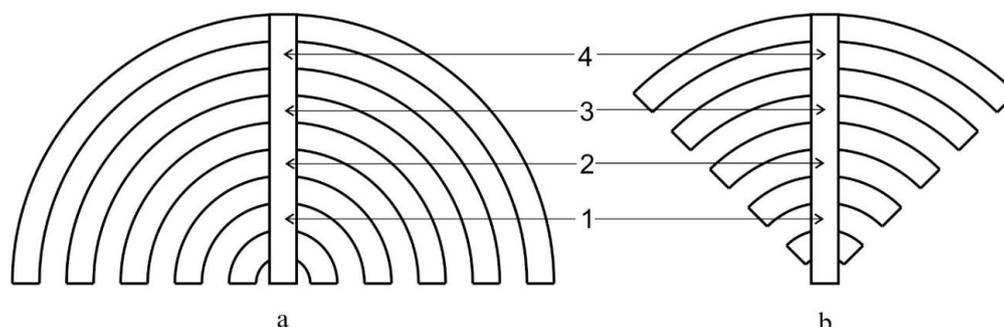


Рис. 1. Схема распределителя газа: а – сектор полукольца,
б – сектор четверти кольца, 1-4 – точки подачи газа питающей трубы

На каждом кольце расположены форсунки для выхода газа диаметром 3.2 см. Форсунки расположены под углом 45°. Расстояние между форсунками 8 см. Секции колец соединены

между собой трубой, через которую в них поступает газ. К этой трубе снизу подходит дополнительная питающая труба, расположение которой изначально не определено. Оно может находиться как ближе к внешнему краю распределителя, так ближе к внутреннему краю распределителя. В настоящей работе рассмотрим несколько вариантов расположения питающей трубы. Определим, как расположение питающей трубы влияет на движение газа по системе распределителя.

В модели вычислительной гидродинамики представляет собой систему уравнений (уравнение неразрывности и уравнение движения):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu (\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g}, \quad (2)$$

где ρ – плотность, \vec{v} – скорость газа, p – давление, μ – вязкость.

Представленная математическая задача решается с использованием метода конечных объемов. Вся вычислительная область делится на конечные объемы треугольной формы. В расчетах, выполненных в данной работе, среднее число конечных элементов составляло в среднем 16 000 000 элементов (рисунок 2). Численная схема устойчива.

Граничные условия устанавливались в соответствии с физическими условиями действующего устройства подачи газа. На стенках задавались условия непроницаемости границы. На участке подачи потока газа были устанавливалось условие массового расхода газа: 4 кг/с для полукольца, 2 кг/с для четверти кольца. На площадке в модели реактора для выхода газа было установлено условие атмосферного давления.

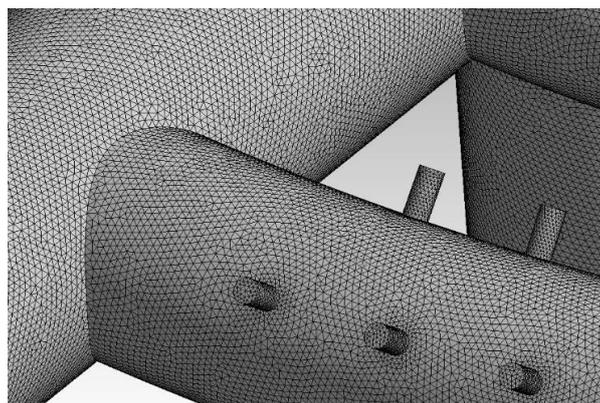


Рис. 2. Пример сеточного разбиения

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим четыре случая расположения питающей трубы: между первым и вторым кольцом, между вторым и третьим кольцом, между третьим и четвертым кольцом, а также между четвертым и пятым кольцом. Все случаи исследованы как для полуколец, так и для четвертей колец.

Анализ проведенных расчетов показал, что скорости на форсунках близки на каждом отдельном ответвлении, но могут существенно отличаться на разных трубах. В качестве результата расчета мы оценим среднюю скорость на форсунках на отдельном ответвлении. На рис. 3, а представлены результаты расчетов для каждого из 4 случаев. Видно, что наибольшие скорости достигаются на трубе с наименьшим диаметром. При этом нет равномерного распределения скорости на разных трубах для всех случаев. Наилучший результат достигается для случаев 3 и 4, когда питающая труба расположена ближе к внешнему краю распределителя газа, где наибольшие различия в скорости составляют 36%.

Рассмотрим результаты расчетов для распределителя газа, состоящего из четырех четвертей круга. Результат представлены на рис. 3, б. Для всех случаев расположения питающей трубы распределение скорости газа на форсунках более равномерное. Наилучший результат также достигается для случаев 3 и 4, когда питающая труба расположена ближе к

внешнему краю распределителя газа, для данного варианта наибольшие различия в скорости составляют 17%.

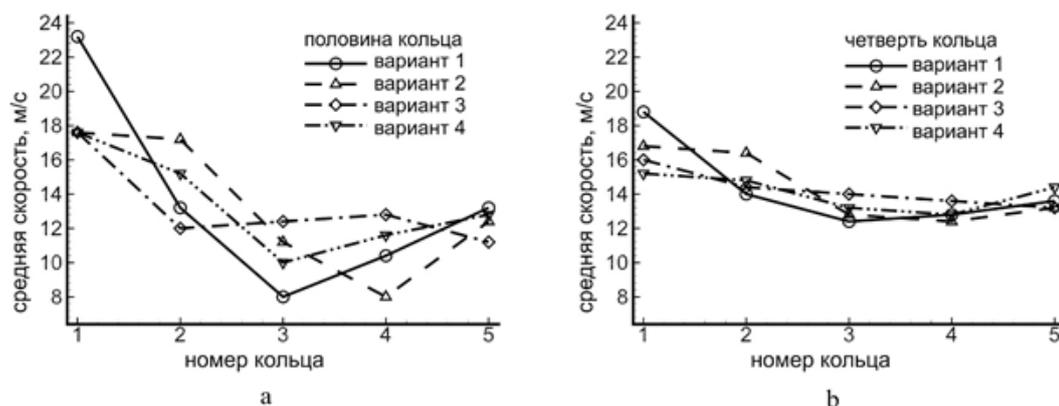


Рис. 3. Средняя скорость газа на форсунках: а – сектор полукольца, б – сектор четверти кольца, вариант 1–4 – расчеты для точек подачи газа питающей трубы в соответствии с рис. 1

Таким образом, самое равномерное распределение скорости газа на форсунках распределителя достигается для формы четверти кольца. Питающая труба в этом случае должна располагаться ближе к внешнему краю распределителя газа.

Заключение

Создано несколько вариантов модели устройства подачи газа для химического реактора кипящего слоя. Проведена серия параметрических численных расчетов с изменением размеров и расположения устройств подачи газа. Выявлено, что равномерное распределение скорости подачи газа обеспечивается для конструкции четверти кольца. Данные исследования могут лечь в основу создания конструкции реактора кипящего слоя с улучшенными свойствами.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160006.

Список литературы

1. Yang W.C. Effect of internal tubes and baffles // Handbook of fluidization and fluid-particle systems. – CRC Press. 2003. pp. 179-207.
2. Soloveva O.V., Solovev S.A., Egorova S.R., Lamberov A.A., Antipin A.V. and Shamsutdinov E.V. CFD modeling a fluidized bed large scale reactor with various internal elements near the heated particles feeder // Chemical Engineering Research and Design. 2018. vol. 138. pp. 212-228.
3. Sadeghbeigi R. Fluid catalytic cracking handbook: An expert guide to the practical operation, design, and optimization of FCC units. – Elsevier, 2012.
4. Basu P. Combustion and gasification in fluidized beds. – CRC press, 2006.
5. You J., Wang D., Zhu C. Entrance Effects on Gas-Solid Riser Flow Structure // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2009. vol. 48. №. 1. pp. 310-319.
6. Papadakis K., Gu S., Bridgwater A.V. Geometrical optimization of a fast pyrolysis bubbling fluidized bed reactor using computational fluid dynamics // Energy and Fuels. 2010. vol. 24. №. 10. pp. 5634-5651.
7. Lysenko S., Sadaka S., Brown R.C. Comparison of mass and energy balances for air blown and thermally ballasted fluidized bed gasifiers // Biomass and bioenergy. 2012. vol. 45. pp. 95-108.
8. Dai J., Cui H., Grace J.R. Biomass feeding for thermochemical reactors // Progress in Energy and Combustion Science. 2012. vol. 38. №. 5. pp. 716-736.
9. Solovev S.A., Egorov A.G., Lamberov A.A., Egorova S.R. and Kataev A.N. Effect of the design of a feedstock injection device in a fluidized-bed reactor on the efficiency of the reaction using the dehydrogenation of iso-paraffins in a fluidized chromia-alumina catalyst bed as an example // Catalysis in Industry. 2016. vol. 8. №. 1. pp. 48-55.

05.13.18

**О.В. Соловьева канд. физ.-мат. наук, С.А. Соловьев канд. физ.-мат. наук,
Л.В. Ахметвалеева канд. техн. наук**

Казанский государственный энергетический университет,
Казань, solovyeva.ov@kgeu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ-РЕАГИРУЮЩЕГО ПОТОКА ГАЗА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ТРАДИЦИОННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СЛОЙ КАТАЛИЗАТОРА И КАТАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА

Проведено численное исследование процесса гидрирования ацетилена в реакторе с гранулированным катализатором и катализатором на основе высокопористого ячеистого материала. Для уточнения полученных данных проведены экспериментальные исследования. Результаты численного моделирования и экспериментальных исследований хорошо согласуются. Можно сделать вывод, что с увеличением температуры в реакторе массовое содержание ацетилена уменьшается. Высокопористые ячеистые катализаторы демонстрируют существенное преимущество по сравнению с традиционным гранулированным катализатором.

Ключевые слова: гидрирование ацетилена, высокопористый ячеистый материал, гранулы, конверсия.

Введение

В химическом машиностроении пористые материалы широко используются в качестве носителей катализатора. Высокопористые материалы обладают рядом уникальных свойств: большой площадью контактной поверхности и высокой пористостью, что создает низкий перепад давления и обеспечивает высокую энергоэффективность [1-3]. В настоящее время металлические пористые материалы широко используются в качестве многофункциональных теплообменников [4] и компактных радиаторов для микроэлектронных устройств [5] благодаря своим теплообменным свойствам [6-7]. Кроме того, теплопроводящие пористые материалы были предложены в качестве эффективного решения для интенсификации неадиабатических каталитических процессов в трубчатых реакторах. Радиальная передача тепла от стенки трубы к реактору и наоборот является ключевым аспектом в химическом машиностроении. В [8] металлические пористые гранулы с твердыми пористыми структурами сравнивались по характеристикам перепада давления и теплопередачи. Тем не менее, в литературе мало исследований о преимуществах и недостатках пористых материалов, используемых в реакторах с неподвижным слоем.

Численное моделирование и экспериментальные исследования

Реакция гидрирования ацетилена проходит быстро и в промышленности используется, например, для очистки этиленовой фракции от примесей ацетилена. Преимуществом использования высокопористого ячеистого материала в качестве носителя для катализатора является снижение сопротивления потока газ при прохождении через слой катализатора и развитая площадь поверхности катализатора.

Проведем сравнительный анализ двух типов катализаторов: традиционного гранулированного и построенного на основе высокопористого ячеистого материала. Построим модели, который соответствуют проведенным экспериментальным исследованиям. Построенные модели представлены на рисунке 1.

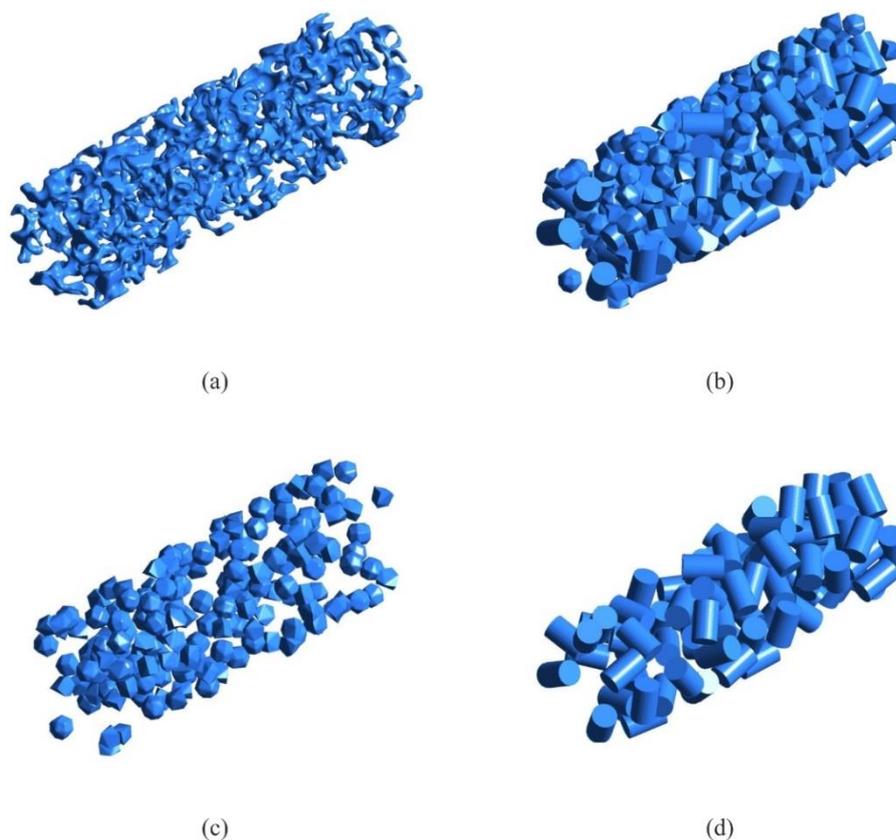


Рис. 1. Модель катализатора: (а) – высокопористый ячеистые материал, (b) – гранулы катализатора с кварцем, (с) – кварц, (d) – гранулы катализатора.

В экспериментах гранулы катализатора были перемешаны с частицами кварца. При построении расчетной модели также были выбраны цилиндрические гранулы катализатора и бесформенные частицы кварца.

Экспериментальные исследования проведены для диапазона температуры подаваемого газа от 25°C до 75°C. Численные расчеты также осуществлялись в данном диапазоне температур потока газа. Численное моделирование проводилось на основе решения уравнений сохранения массы, энергии и импульса для стационарного течения многокомпонентной газовой фазы в CFD пакете ANSYS Fluent.

Результаты рассчитанных полей массового содержания ацетилена в сечении реактора представлены на рисунке 2 для гранулированного катализатора и на рисунке 3 для катализатора на основе высокопористого ячеистого материала.

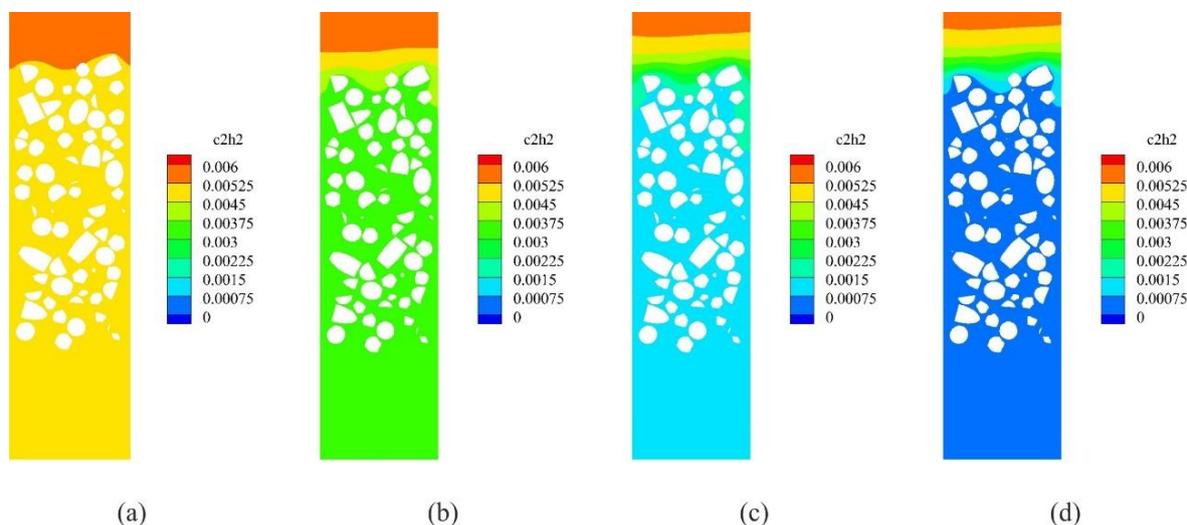


Рис. 2. Массовое содержание ацетилена для реактора с гранулированным катализатором при температуре потока: (а) – 30°C, (b) – 40°C, (с) – 50°C, (d) – 60°C.

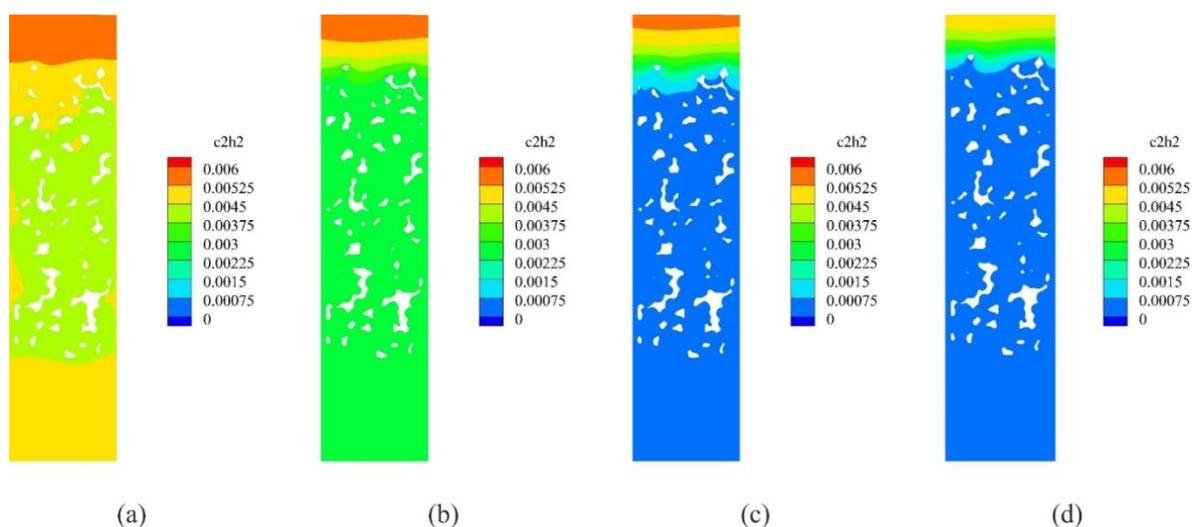


Рис. 3. Массовое содержание ацетилена для реактора с высокопористым катализатором при разных значениях температуры потока: (a) – 30°C, (b) – 40°C, (c) – 50°C, (d) – 60°C.

Из картин результатов расчетов видно, что массовое содержание ацетилена существенно ниже на выходе из реактора для катализатора на основе высокопористого ячеистого материала, чем на выходе из реактора с традиционным гранулированным катализатором. При этом большие значения в конверсии ацетилена наблюдаются в расчетах во всем диапазоне температуры газового потока.

Проведем количественный анализ конверсии ацетилена при прохождении через слой катализатора. На рисунке 4 представлены результаты экспериментальных исследований и численных расчетов.

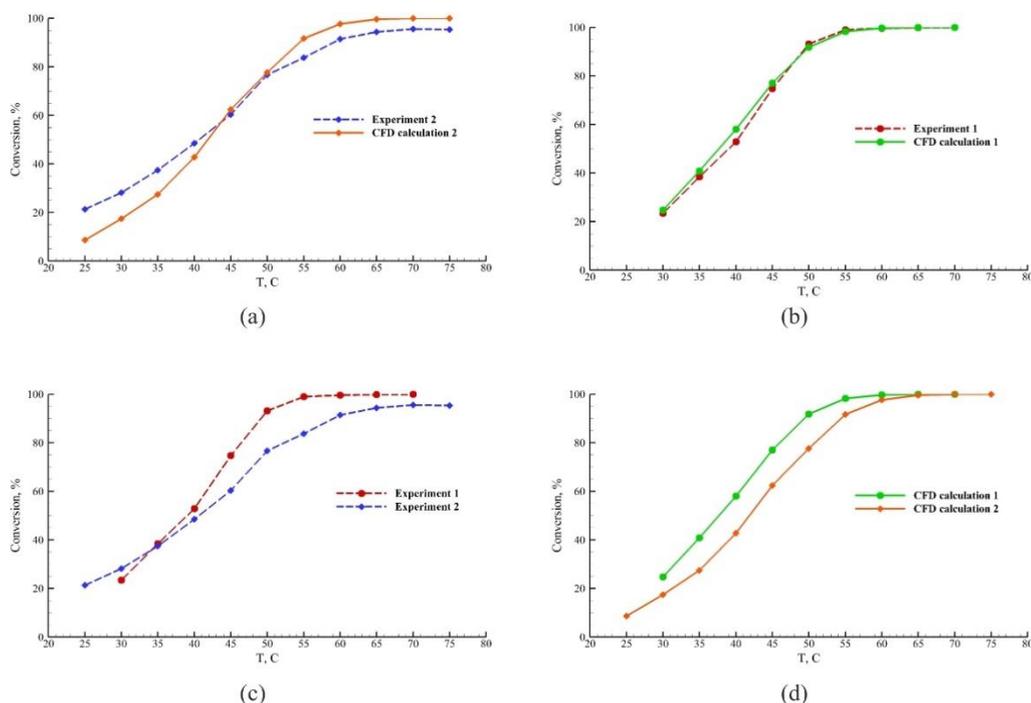


Рис. 4. Конверсия ацетилена: (a) – эксперимент и расчет для гранулированного катализатора, (b) – эксперимент и расчет для высокопористого катализатора, (c) – эксперимент, (d) – расчет.

Из рисунка видно, что результаты численных расчетов показывают хорошее согласие с результатами проведенных экспериментов. При этом наилучшее совпадение результатов наблюдается для случая высокопористого катализатора. Для случая гранулированного катализатора наибольшие отклонения наблюдаются при самых маленьких и самых больших значениях температуры газа из выбранного диапазона.

Заключение

Как в экспериментальных, так и в вычислительных экспериментах наилучшие результаты показывают катализаторы на основе высокопористого ячеистого катализатора в сравнении с традиционным гранулированным катализатором.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-41-160005.

Список литературы

1. *Giani, L., Groppi, G., Tronconi, E.* Mass-transfer characterization of metallic foams as supports for structured catalysts // *Industrial & engineering chemistry research*. – 2005. Vol. 44, №. 14. – P. 4993-5002.
2. *Richardson, J.T., Peng, Y., Remue, D.* Properties of ceramic foam catalyst supports: pressure drop // *Applied Catalysis A: General*. – 2000. Vol. 204, №. 1. – P. 19-32.
3. *Lu, T.J., Stone, H.A., Ashby, M.F.* Heat transfer in open-cell metal foams // *Acta materialia*. – 1998. Vol. 46, №. 10. – P. 3619-3635.
4. *Haack, D.P., Butcher, K.R., Kim, T., Lu, T.J.* Novel lightweight metal foam heat exchangers // 2001 ASME Congress Proceedings. – 2001. – P. 1-7.
5. *Соловьев С.А., Соловьева О.В., Попкова О.С.* Численное моделирование движения аэрозольных частиц в высокопористом проницаемом ячеистом материале // *Журнал физической химии*. – 2018. – Т. 92, №. 3. – С. 489-493.
6. *Ghosh, I.* Heat transfer correlation for high-porosity open-cell foam // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2009. Vol. 52, №. 5-6. – P. 1488-1494.
7. *Coquard, R., Loretz, M., Baillis, D.* Conductive Heat Transfer in Metallic/Ceramic Open-Cell Foams // *Advanced engineering materials*. – 2008. Vol. 10, №. 4. – P. 323-337.
8. *Kolaczowski, S.T., Awdry, S., Smith, T., Thomas, D., Torkuhl, L., Kolvenbach, R.* Potential for metal foams to act as structured catalyst supports in fixed-bed reactors // *Catalysis Today*. – 2016. Vol. 273. – P. 221-233.

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

05.03.19

Е.А. Беляев, О.А. Емельянова, А.С. Исаев канд. техн. наук

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
мегафакультет компьютерных технологий и управления,
факультет безопасности информационных технологий,
eabeliaev@ya.ru, emelyanova1397@gmail.com, isaev@itmo.ru

**ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ БАНКА РОССИИ
ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ КРЕДИТНО-ФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Методическими документами Банка России определен процесс оценки рисков информационной безопасности кредитно-финансовых организаций, при этом существующие методики не предусматривают формализованного подхода к процессу оценки рисков. В работе рассмотрены проблемы применения методических документов Банка России, а также предложены варианты их решения, путем создания банка данных угроз информационной безопасности кредитно-финансовых организаций и унификации подходов к оценке рисков информационной безопасности организаций банковской системы.

Ключевые слова: *информационная безопасность, кредитно-финансовые организации, оценка рисков.*

Развитие банковской сферы Российской Федерации напрямую зависит от уровня информационной безопасности организаций кредитно-финансовой сферы. В рамках функционирования системы защиты информации в финансово-кредитных организациях важную роль играет оценка рисков информационной безопасности.

В организациях банковской системы Российской Федерации обрабатывается и хранится большой объем информации. Каждая кредитно-финансовая организация должна соответствовать требованиям Федеральных законов, стандартов Центрального Банка Российской Федерации (ЦБ РФ), требований Федеральной службы по техническому и экспортному контролю Российской Федерации (ФСТЭК России), что является трудоемкой задачей, поскольку все требования делятся на различные уровни операторов и не систематизированы. Организации кредитно-финансовой сферы находятся в зоне более сложного регулирования, в отличие от других сфер деятельности. Требования регуляторов зачастую не имеют четких и формализованных методик. Организации банковской сферы также относятся к объектам критической информационной инфраструктуры, что накладывает на них обязательства, определенные Федеральным законом. Помимо основных регуляторов ФЗ №187-ФЗ [1], имеется также отраслевой регулятор — Банк России, в связи с чем процесс согласования критериев, объектов и результатов категорирования более сложный и многоэтапный.

Любая организация банковской сферы, нацелена на поддержание расходов на информационную безопасность на заданном уровне. Кроме того, расходы на обеспечение информационной безопасности не должны превышать возможных ущербов. Одним из условий достижения данной системы является грамотное проведение анализа рисков информационной безопасности организаций банковской системы.

Нормативно-правовыми документами Российской Федерации, а также стандартами и положениями регулятора банковской системы – Банком России, определены требования к процессу управления рисками банковской организации.

Банком России разработаны нормативно-методические документы, регламентирующие процесс оценки рисков информационной безопасности организаций банковской системы. Действующая методика проведения оценки рисков информационной безопасности имеет четкую, последовательную структуру, но при этом не содержит определенный перечень рассматриваемых угроз информационной безопасности, что приводит к зависимости результатов от подходов применяемых экспертом, проводящим оценку.

Таким образом, действующая методика Банка России по оценке рисков информационной безопасности организаций кредитно-финансовой системы [2] не имеет формализованного подхода к оцениваемым угрозам информационной безопасности, исходя из чего, результаты оценки зависят напрямую от подходов эксперта.

В связи с тем, что существующие документы по проведению оценки рисков информационной безопасности для организаций банковской сферы не регламентируют конкретный перечень рассматриваемых угроз, а также методика не содержит типовых перечней защищаемых ресурсов и объектов воздействия, процедура проведения становится зависимой от квалификации и субъективных оценок эксперта, осуществляющего процедуру оценки рисков.

Для решения данной проблемы предлагается использовать опыт ФСТЭК России, внедрившей в свою методику проведения оценки банк данных угроз информационной безопасности [3]. Создание банка данных угроз информационной безопасности организаций кредитно-финансовой сферы позволит формализовать процесс проведения оценки рисков информационной безопасности. В результате унификации подхода, процедура оценки рисков информационной безопасности будет менее завязана на опыте и квалификации эксперта, так как будет предложен заданный перечень угроз для проведения его последующего анализа, применительно к кредитно-финансовой организации. Сформированный перечень угроз, должен быть ранжирован и систематизирован, что позволит оптимизировать и в том числе ускорить процесс оценки рисков. Решить проблемы, возникающие при оценке рисков позволят также сформированные типовые перечни защищаемых ресурсов и объектов воздействия.

Однако, несмотря на относительно удачный опыт внедрения такого ресурса на рынке информационной безопасности Российской Федерации, на текущий момент времени, существующий отдельный банк данных угроз безопасности информации от ФСТЭК России, который должен был теоретически предоставить удобный инструмент для централизованного ведения общего реестра угроз безопасности, обеспечивая таким образом повышение информированности заинтересованных лиц о существующих угрозах безопасности информации в информационных (автоматизированных) системах, не может в полной мере являться эталонным хранилищем информации, актуальной для всех сфер производственной деятельности. На текущий момент угрозы безопасности, которые могли бы быть применены для построения рискованных моделей в организациях банковской сферы практически полностью отсутствуют, что обуславливается следующими основными факторами:

1. Практически полное закрытие любой информации со стороны организаций банковской сферы, о возникновении любых угроз безопасности информации, с целью недопущения репутационных потерь компании.

2. Существенное отличие сетевой и информационной инфраструктуры организаций банковской сферы от подавляющего большинства организаций других сфер в Российской Федерации, что в том числе влияет на количество и способы реализации угроз безопасности информации, применимые именно к организациям банковской сферы.

3. Сложность и комплексность построения систем обеспечения безопасности информации организаций банковской сферы, что делает неприменимым большинство типовых угроз безопасности информации, отражённых в банке данных угроз ФСТЭК России.

4. Особый контроль и требования со стороны регулирующих органов Российской Федерации по информационной безопасности всех организаций банковской сферы, с учетом важности и специфики их деятельности.

5. Наличие в текущем составе банка данных угроз безопасности информации ФСТЭК России части угроз, связанных с использованием и применением в организации морально и технически устаревших средств и технологий, что зачастую не находит своей применимости в организациях банковского сектора.

Подводя итог, следует отметить, что основные проблемы, с которыми сталкиваются эксперты при проведении оценки рисков информационной безопасности организаций банковской сферы – отсутствие формализованного подхода и заданного перечня угроз для проведения анализа. Формирование единого централизованного банка данных угроз информационной безопасности кредитно-финансовых организаций позволит унифицировать общий подход и выработать современный, актуальный перечень возникающих угроз безопасности информации, что приведёт к существенному повышению эффективности построения рискованных моделей, за счет сокращения временных затрат на выявление и актуализацию основного перечня угроз безопасности информации для организаций банковской сферы. Кроме того, подобная категория ресурсов должна иметь однозначную привязку конкретной угрозы безопасности информации, находящейся в перечне, с существующим перечнем актуальных уязвимостей в применяемых средствах и информационных технологиях. Такая привязка должна быть реализована в полностью автоматическом формате, ведь зачастую для одной угрозы будет характерен целый набор сопутствующих уязвимостей, количество которых будет существенно превышать суммарные показатели количества угроз. С учетом текущего опыта ФСТЭК России на 217 угроз безопасности информации в текущем актуальном перечне банка данных угроз приходится порядка 25697 выявленных уязвимостей, связь между которыми не установлена, что практически полностью лишает возможности эффективного применения собранной информации по уязвимостям, в контексте построения и последующей оценки угроз и рисков безопасности в организации. С учетом вышесказанного, разработка и формирование подобной методики может быть использована для проведения оценки рисков кредитно-финансовых организаций Российской Федерации в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации и нормативных документов Банка России, являющегося регулятором банковской системы Российской Федерации.

Список литературы

1. Федеральный закон Российской Федерации от 26 июля 2017 г. №187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
2. Рекомендации в области стандартизации Банка России РС БР ИББС-2-2.2-2009 «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки рисков нарушения информационной безопасности» – Москва – 2009 г.
3. Банк данных угроз безопасности информации [Электронный ресурс] / Автор: ФСТЭК России – Сайт «Банк данных угроз безопасности информации - ФСТЭК России», 06.03.2015 – Режим доступа: <http://bdu.fstec.ru/threat> - свободный.

05.13.19

А.С. Исаев канд. техн. наук, О.И. Луценко, А.А. Симанович

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
мегафакультет компьютерных технологий и управления,
факультет безопасности информационных технологий,
Санкт-Петербург, a.s.isaev@yandex.ru

ОБЗОР МЕТОДИК ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

В современном мире проблема повышения защищенности сети не теряет актуальности, и обеспечение кибербезопасности становится все более необходимой задачей каждого предприятия. В работе рассматривается проблема выбора метода обнаружения аномального поведения сетевого трафика с целью повышения уровня защищенности автоматизированной системы в локальной сети предприятия. Проведен сравнительный анализ методов обнаружения аномалий поведения сетевого трафика. В результате проведения анализа были сформированы критерии применимости методов для достижения максимальной эффективности их применения.

Ключевые слова: аномальное поведение, сетевой трафик, методы обнаружения, методики анализа трафика.

Одним из основных методов обеспечения защиты сетевой инфраструктуры от распространённых сетевых атак является детектирование аномального поведения сетевого трафика. Как известно, выявление аномального поведения сетевого трафика происходит в соответствии с двумя основными категориями технологий обнаружения сетевых атак: обнаружение злоупотреблений и обнаружение аномалий. Большинство из существующих решений обнаружения аномального поведения сетевого трафика основывается на описании шаблонов атак, основным недостатком такого подхода является невозможность описания всех шаблонов сетевых атак, а также существенная вариативность и развитие способов их применения. Обнаружение аномалий заключается в том, что используется шаблон нормального поведения трафика, которые зачастую являются не полными, а также не способными обеспечить гибкое покрытие вариативности способов реализации осуществляемых сетевых атак.

Целью данной работы является выбор наиболее эффективных методов повышения защищенности автоматизированной системы в локальной сети предприятий среднего и малого бизнеса путем анализа методов обнаружения сетевых атак. Исходя из основных технологических характеристик предприятия, метод должен обладать быстротой и простотой реализации. На текущий момент применяются различные методы обнаружения сетевых атак [3], основные из них представлены в таблице 1, включая определение достоинств и недостатков использования данных методов для анализа сетевого трафика в локальной сети, полученных в результате проведения исследования.

Таблица 1 - Наиболее известные методы обнаружения атак.

Название	Достоинства	Недостатки
Поведенческие методы		
Статистический анализ	Позволяет выявлять неизвестные атаки, прогнозирование, адаптивность, способность выявления зависимостей между параметрами.[1]	Сложность вычислений, проблема возможного пропуска аномалий, необходимость описания нормального поведения сетевого трафика.

Название	Достоинства	Недостатки
Кластерный анализ	Высокий уровень адаптации к внешним факторам, способность к параллельной обработке.	Длительное время для реализации метода, сложность в понимании анализа.
Фрактальный анализ	Определение аномалий возможно на малых временных отрезках, прогнозирование, высокая скорость. [1]	На практике является сложной задачей.
Методы машинного обучения		
Деревья решений	Легкообучаемый, простой, логичный, понятный, ресурсоемкий, точный, способность к прогнозированию, классификации.	Необходим подбор оптимального количества деревьев, проблемы переобучения.
Байесовский метод	Быстрый, обучаемый, быстрореализуемый, выражает причинно-следственные связи, не подвержен проблеме переобучения.	Невозможность определение атак типа DDOS, неспособность к анализу непрерывных входящих значений.
Методы вычислительного интеллекта		
Нейронные сети	Автоматическое приобретение знаний, прогнозирование, адаптивность, низкая сложность. [2]	Обязательное обучение на большом количестве данных, неverifiedируемость проблема переобучения.
Генетические алгоритмы	Способность к параллельной обработке данных, адаптивность.	Высокая вычислительная сложность, сходимость не гарантируется.
Нечеткая логика	Возможность описания случайных событий, отнесения поведения к нескольким видам атак.	Невозможность автоматически приобретать знания, необходимость в обучении.
Иммунные системы	Возможность выявления неизвестных атак, способность к параллельной обработке данных [2].	Требует большого количества ресурсов, сложность вычислений, настройки, долгообучаемый.
Методы на основе знаний		
Сигнатурный метод	Высокая скорость, чувствительность, простота, низкие требования к ресурсам [1].	Невозможность защиты от новых атак.
Язык описания сценариев	Гибкость, адаптивность, верифицируемость [1].	Высокая вычислительная сложность.
Сети Петри	Быстрое обнаружение атаки еще до ее совершения.	Сложность реализации, невозможность обнаружения неизвестных атак.
Экспертные системы	Логичность и понятность принятых решений, простота реализации [3].	Низкая скорость работы, сложный учет [3] зависимостей параметров.

На основе анализа выше представленной таблицы можно сделать вывод, что поведенческие методы обладают высокой эффективностью и способностью к обнаружению новых, неизвестных атак. С использованием поведенческих методов возможно анализировать динамические процессы, но требования к программно-аппаратному

обеспечению для их применения высоки. Методы машинного обучения также требуют обучения, и некоторые представители являются эффективными для обнаружения аномалий. К наиболее часто используемым в области обнаружения аномалий относятся методы вычислительного интеллекта [3]. Самым известным из данной категории методом является метод нейронных сетей. Нейронные сети обладают низкой сложностью вычислений, высокой точностью, скоростью, способны эффективно и самое главное оперативно распознавать новые виды атак. Данный метод является эффективным для выявления аномалий в сетевом трафике, особенно в совокупности с иными методами. Методы на основе знаний являются неэффективными для обнаружения аномалий сетевого трафика, так как метод проверки на модели предполагает рассмотрение всех конечных состояний системы, что является практически недостижимым; метод экспертных систем медленный и является неприменимым для анализа большого количества данных; сети Петри также является медленным методом и выявляет только явные признаки аномального поведения сетевого трафика; метод конечных автоматов и язык описания сценариев являются сложновычислимыми; сигнатурный метод считается наоборот, довольно быстрым, но он требует постоянного обновления сигнатурных баз.

Кроме отдельных методов существуют также гибридные методы, которые компенсируют недостатки отдельных методов. Они показывают лучшие результаты, чем алгоритмы по отдельности. Хорошим примером являются нейро-нечеткие сети, в которых система с нечеткой логикой предназначена для получения выводов, а обучение и формирование функций принадлежности проводит нейронная сеть.

В результате проведенного исследования, следует сделать вывод о том, что наибольшей эффективностью будут обладать методы обнаружения аномального сетевого трафика, построенного на основе деревьев решений и гибридных методов, оптимизированные для текущих потребностей организации. При разработке метода обнаружения аномального поведения в локальной сети производственного предприятия среднего размера особое внимание следует уделять снижению времени обнаружения аномалии, понижению сложности вычислений и оптимизации использования вычислительных ресурсов, включая применение гибридных методов, которые способны не только существенно снизить потребляемые ресурсы, но и сократить время, которое необходимо для обучения системы.

Таким образом, исходя из определенных критериев анализа, наиболее оптимальными и эффективными являются методы: деревья решений и гибридные методы. Как упоминается во множестве публикаций, гибридные системы являются наиболее эффективными по отношению к выявлению аномалий, так как компенсируют недостатки отдельных методов, поэтому для повышения защищенности автоматизированной системы в локальной сети предлагается использовать гибридный метод обнаружения аномального поведения на основе комбинаторики нейронных сетей и нечеткой логики.

Список литературы

1. *Киреева Наталья Валерьевна, Караулова Ольга Александровна* Оценка аномалий сетевого трафика на основе циклического анализа // Т-Comm. 2018. №11.
2. *Браницкий А.А., Котенко И.В.* Обнаружение сетевых атак на основе комплексирования нейронных, иммунных и нейронечетких классификаторов // Информационно-управляющие системы. 2015. №4 (77).
3. *Черненко В.В.* Экспертные системы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. № 3 (322)

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

В.С. Минкин, А.В. Репина, Р.Х. Зиятдинов, Р.Х. Шагимуллин
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОТВЕРЖДЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИОКОЛОВ С ПОМОЩЬЮ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТОВ

Ключевые слова: отверждение, полисульфидный олигомер (тиокол), ПМР-спектры, физико-механические свойства.

Установлено, что процесс отверждения промышленных тиоколов можно регулировать с помощью вводимых промышленных олигоэфиракрилатов. Условия отверждения и получение новых композиций существенно зависят от свойств вводимых добавок. Их введение позволяет получать новые герметики с улучшенными физико-механическими свойствами.

Д.С. Горбатенко

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ
ПЕРЕВОЗОК ТРОЛЛЕЙБУСАМИ

Ключевые слова: пассажирские перевозки, троллейбусы, дорожно-транспортное происшествие, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.

В статье рассматривается проблематика обеспечения безопасности осуществления пассажирских перевозок троллейбусами в городах. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий как с участием троллейбусов, так и по вине водителей троллейбусов. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности.

Е.С. Еранцева, Р.О. Мишанов, М.Н. Пиганов
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ НА
ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: кластерный анализ, прогнозирование, микросхема, эффективность, классификация, информативный параметр.

Приведены результаты кластерного анализа для классификации интегральных микросхем серии 564. Были использованы методы k-средних и карт Кохонена. Дана сравнительная оценка методов. В качестве критериев эффективности методов рассмотрены вероятность ошибочных решений, риски потребителя и изготовителя.

Ю.Н. Кондрашов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНОВЫХ РЕШЕНИЙ НА СЕТЕВЫХ
МОДЕЛЯХ ДЛЯ ЗАДАЧ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Ключевые слова: сетевой график, оптимизация плана, итеративное агрегирование.

В статье рассматривается развитие алгоритма планирования проектов на сетевых моделях для задач большой размерности. Алгоритм планирования, сводящий задачу оптимизации плана на сетевой модели к общей задаче нелинейного программирования с возможностью гибкого формирования целевой функции и ограничений, дополнен методом итеративного агрегирования для задач нелинейного программирования, обеспечивающим повышение эффективности решения задач большой размерности.

В.А. Егоров, Е.В. Плотников
МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ТРЕХФАЗНЫМ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ

Ключевые слова: Микроконтроллер, широтно-импульсная модуляция, автономный инвертор, модулирующая функция, асинхронный двигатель, таймер, силовой драйвер.

Описаны функциональная схема и принцип реализации широтно-импульсной модуляции автономного инвертора с использованием однокристального микроконтроллера.

V.S. Minkin, A.V. Repina, R.H. Ziyatdinov, R.H. Shagimullin
CURING PROCESS CONTROL OF INDUSTRIAL
THIOLCOLS WITH OLIGOESTER ACRYLATES

Keywords: curing, polysulfide oligomer (thiocol), PMR – spectra, physical and mechanical properties.

It has been found that the curing process of industrial thiocols can be controlled by the introduction of industrial oligoether acrylates. Curing conditions and the preparation of new compositions substantially depend on the properties of the added additives. Their introduction allows to obtain new sealants with improved physical and mechanical properties.

D.S. Gorbatenko

SECURITY OF PASSENGER TRANSPORTATION BY
TROLLEYBUSES

Keywords: passenger transport, trolley buses, traffic accident, traffic violations, accident prevention.

The article considers the problems of ensuring the safety of passenger transportation by trolleybuses in cities. The analysis of the main causes of road accidents both with the participation of trolley buses and through the fault of trolley bus drivers is carried out. Accident prevention measures are proposed and theoretically justified.

E.S. Erantseva, R.O. Mishanov, M.N. Piganov
FORECASTING OF THE INTEGRATED CHIPS QUALITY
BASED ON CLUSTER ANALYSIS

Keywords: cluster analysis, forecasting, chip, effectiveness, classification, informative parameter

The article is devoted to the cluster analysis results of the chips 564 series classification. K-means clustering method and Kohonen Self-Organizing Maps method were used. A comparative assessment of the methods is given. Risk of the incorrect decision, consumer's risk and producer's risk are considered as a criterion for the effectiveness of methods.

Y.N. Kondrashov

OPTIMIZATION OF PLANNED SOLUTIONS ON NETWORK
MODELS FOR TASKS OF LARGE DIMENSION

Keywords: network diagram, plan optimization, iterative aggregation.

The article discusses the development of the project planning algorithm on network models for large-scale tasks. The planning algorithm, which reduces the problem of optimizing a plan on a network model to a general non-linear programming problem with the possibility of flexible formation of the objective function and constraints, is supplemented by iterative aggregation for non-linear programming problems, which increases the efficiency of solving large-dimensional problems.

V.A. Egorov, E.V. Plotnikov
MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM OF THREE-
PHASE INVERTER

Keywords: microcontroller, pulse-width modulation, autonomous inverter, modulating function, induction motor, timer, power driver.

The functional scheme and the principle of implementing pulse-width modulation of an autonomous inverter using a single-chip microcontroller are described.

В.А. Егоров, Е.В. Плотников

**МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ПРОСТРАНСТВЕННО-
ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

Ключевые слова: Микроконтроллер, пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция, автономный инвертор, модулирующая функция, таймер.

Описаны алгоритм и программная реализация блока формирования модулирующих функций автономного инвертора с пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией. Приведены результаты тестирования разработанного блока управления.

К.В. Клочкова, Л.А. Симонова, Е.Н. Сосенушкин,
Л.Р. Юсупов

**РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ СВОЙСТВ
НА ПРИМЕРЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЧУГУНА С
ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ.**

Ключевые слова: автоматизированная система, интеллектуальная поддержка принятия решений, база правил, база знаний, каскадная нейронная сеть.

В статье представлена работа автоматизированной системы интеллектуальной поддержки принятия решений, обеспечивающая требуемые свойства изделий из композиционных материалов, в зависимости от условий их эксплуатации. Проверка работы системы осуществляется на примере моделирования свойств изделия из чугуна с вермикулярным графитом «Картер делителя передач». Система основана на разработанной базе правил, реализованной на языке CLIPS, каскадной нейронной сети, реализованной на языке C++ и базе знаний. Результаты тестирования показали, что система способна давать оценку результатам моделирования и вносить корректировки для обеспечения необходимых свойств изделий из композиционных материалов, обусловленных условиями эксплуатации.

Г.Е. Кокиева

**МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ**

Ключевые слова: животноводческие фермы, подстилочный навоз, переработка и утилизация навоза, комплексная утилизация, микробный синтез, жидкий навоз, метановое сбраживание, микробиологические показатели, технологическая схема, оборудование микробного синтеза, анаэробный способ.

За рубежом уделяется большое внимание экономии топлива путем применения биогаза как источника энергии, получаемого из биомассы и органических отходов сельскохозяйственного производства. Традиционные способы хранения и использования подстилочного навоза неприемлемы для разбавленного, доля которого в структуре органических отходов животноводческих ферм и комплексов постоянно возрастает. Это обуславливает необходимость поиска способов переработки, которые обеспечили бы комплексную утилизацию его агротехнических, энергетических, кормовых и других свойств. В статье представлена технология переработки утилизации навоза путём микробного синтеза.

V.A. Egorov, E.V. Plotnikov

**MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM OF
AUTONOMOUS INVERTER WITH SPACE-VECTOR
WIDTH-PULSE MODULATION**

Keywords: microcontroller, space-vector pulse-width modulation, autonomous inverter, modulating function, timer.

The algorithm and software implementation of the block for the formation of modulating functions of an autonomous inverter with a spatially vector pulse-width modulation are described. The test results of the developed control unit are presented.

K.V. Klochkova, L.A. Simonova, E.N. Sosenushkin,
L.R. Yusupov

**IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED INTELLIGENT
DECISION SUPPORT SYSTEM TO ENSURE THE
REQUIRED PROPERTIES DEMONSTRATED BY EXAMPLE
OF PARTS MADE OF CAST IRON WITH VERMICULAR
GRAPHITE**

Keywords: automated system, intelligent decision support, rule base, knowledge base, cascading neural network.

The article presents the work of an information design system that provides the required properties of products from composite materials, depending on the conditions of their use. Testing is carried out on the example of designing the properties of a product from cast iron with vermicular graphite « gear divider housing». The system is based on a developed rule base implemented in CLIPS, a cascade neural network implemented in C++ and a knowledge base. Based on the test results, it was concluded that the system can evaluate simulation results and, if necessary, make adjustments to the process to ensure the necessary physical and mechanical properties of products made of composite materials.

G.E. Kokieva

**METHOD OF THE AUTOMATED TREATMENT OF
AGROWASTES**

Keywords: livestock farms, litter manure, processing and disposal of manure, complex utilization, microbial synthesis, liquid manure, methane fermentation, microbiological indicators, technological scheme, equipment for microbial synthesis, anaerobic method.

Abroad, great attention is paid to fuel economy through the use of biogas as a source of energy derived from biomass and organic agricultural waste. Traditional methods of storage and use of litter manure are unacceptable for diluted, whose share in the structure of organic waste of livestock farms and complexes is constantly growing. This necessitates the search for processing methods that would ensure the comprehensive utilization of its agricultural, energy, feed and other properties. The article presents the technology for processing the utilization of manure by microbial synthesis. Another problem, which is becoming increasingly acute, is environmental protection, which also requires intensive and rational processing of animal waste. Thus, methane digestion of manure in combination with the processing of biogas released into feed protein based on controlled microbial synthesis is a new production process that provides both energy and feed additives. This technology makes it possible to implement an accelerated cycle of bioconversion of substances at a livestock enterprise parallel to the traditional path of their regeneration in crop production, which provides real opportunities for creating livestock complexes in the form of waste-free production that meets all the requirements of the economy and environmental protection.

В.И. Коломиец
АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ УМНОГО
ОСВЕЩЕНИЯ

Ключевые слова: умный город, умное освещение, энергоэффективность, интеллектуальная система управления освещением, диммирование.

В работе представлены результаты анализа реализованных проектов умного освещения в городах РФ. Выбраны показатели для оценки эффективности мероприятий по повышению энергоэффективности городского освещения. Показано, что наиболее востребованной моделью трансформации является модель локальных действий.

В.В. Лебедев, О.В. Пухова
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ КОТЕЛЬНОЙ
УСТАНОВКИ

Ключевые слова: автоматическое регулирование, программное обеспечение, режимы работы, технологические параметры, котельная установка.

В статье рассматривается разработанная система автоматического регулирования процессов в теплообменнике котельной установки. Программное обеспечение системы регулирования, позволяет осуществлять автоматический контроль технологических параметров и поддержание оптимальных режимов работы, обеспечивая безопасное ведение технологического процесса, повышение производительности оборудования, снижению затрат топлива и энергии.

Л.А. Симонова, Г.М. Капитонова
МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, интеллектуальная система, фреймовая модель, база правил, алгоритм работы базы знаний.

В работе предложена реализация фреймовой модели представления знаний о технологическом маршруте изготовления изделия экспертной системы, с использованием методики выбора оборудования основанная на паре матриц исходных данных и ограничений технологического процесса обработки.

М.П. Овчинцев, Е.М. Гусакова
ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ
ФУНКЦИЙ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ НЕКОТОРЫМ КЛАССАМ
АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Ключевые слова: оптимальное восстановление, наилучший метод, погрешность наилучшего метода, линейный наилучший метод, экстремальная функция.

В статье изучается задача оптимального восстановления производных от ограниченных аналитических функций, заданных в единичном круге в точке по их значениям в конечном числе точек; причем, эти функции рассматриваются с некоторым весом. Работа разбита на два раздела. В первом разделе приводятся необходимые сведения. Во втором — выписывается экстремальная функция, при помощи которой можно определить погрешность наилучшего метода приближения, устанавливается единственность линейного наилучшего метода приближения и в конце работы вычисляются его коэффициенты.

В.Ю. Мельцов, А.К. Крутиков, В.Д. Подковырин
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ
ВЫБОРКИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ БОКСЕРСКОГО
ПОЕДИНКА ЗА ТИТУЛ ЧЕМПИОНА МИРА ПО ВЕРСИИ
WBC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LVQ-СЕТИ

Ключевые слова: прогнозирование; нейронная сеть векторного

V.I. Kolomiets
ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF SMART
LIGHTING PROJECTS

Keywords: smart city, smart lighting, energy efficiency, intelligent lighting control system, dimming.

The paper presents the results of the analysis of implemented smart lighting projects in cities of the Russian Federation. Indicators are selected to assess the effectiveness of measures to improve the energy efficiency of urban lighting. It is shown that the model of local actions is the most popular model of transformation.

V.V. Lebedev, O.V. Puhova
SYSTEM OF AUTOMATIC REGULATION OF PROCESSES
IN HEAT EXCHANGER OF THE BOILER PLANT

Keywords: automatic regulation, software, operating modes, technological parameters, boiler plant.

This paper discusses the developed system of automatic control of processes in the heat exchanger of a boiler plant. The control system software allows automatic control of technological parameters and maintenance of optimal operating modes, ensuring safe process management, increasing equipment productivity, and reducing fuel and energy costs.

L.A. Simonova, G.M. Kapitonova
METHOD OF FORMING ALTERNATIVE
TECHNOLOGICAL ROUTES USING A FRAME MODEL OF
KNOWLEDGE REPRESENTATION

Keywords: technological preparation of production, intelligent system, frame model, rules base, algorithm of the knowledge base.

In this paper, we propose the implementation of a frame model for representing knowledge about the technological route of manufacturing an expert system product, using a technique for selecting equipment based on a pair of input data matrices and processing process constraints.

M.P. Ovchintsev, E.M. Gusakova
OPTIMAL RECOVERY OF DERIVATIVES OF FUNCTIONS
BELONGING TO CERTAIN CLASSES OF ANALYTICAL
FUNCTIONS

Keywords: optimal recovery, best method, best method error, linear best method, extreme function.

The paper studies the problem of optimal recovery of derivatives of bounded analytical functions defined in a unit circle at a point by their values in a finite number of points; moreover, these functions are considered with some weight. The work is divided into two sections. The first section provides the necessary information. In the second case, an extreme function is written out, which can be used to determine the error of the best approximation method, establish the uniqueness of the linear best approximation method, and at the end of the work, its coefficients are calculated.

V.Yu. Meltsov, A.K. Krutikov, V.D. Podkovyrin
FEATURES OF FORMING A TRAINING SAMPLE WHEN
PREDICTING A BOXING MATCH FOR THE WBC WORLD
TITLE USING THE LVQ NETWORK

Keywords: prediction; result; professional Boxing; vector quantization of the neural network; training sample

квантования; профессиональный бокс; обучающая выборка
 В статье описываются особенности формирования обучающей выборки при осуществлении прогнозирования второго титульного боксерского поединка между Деонтеем Уайлдером и Тайсоном Фьюри. В качестве инструмента прогнозирования предлагается использовать нейронную сеть векторного квантования сигналов. Приведена структура сети и непосредственные результаты прогноза. Описан тестируемый прототип системы спортивного прогнозирования на основе нейронных сетей, смоделированный в программной среде MATLAB.

А.С. Андреев, Е.В. Дороговцева, Е.М. Рябова
 ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ТЯЖЕЛОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ

Ключевые слова: тяжелое твердое тело, стабилизация движения, синтез управления.

В работе предлагается новый подход к управлению движением твердого тела с неподвижной точкой в однородном поле сил тяжести, без измерения скоростей. Решаются задачи о стабилизации произвольного положения и стационарного движения твердого тела. Актуальность задачи состоит в ее применении для управления схватом антропоморфного робота со сферическим шарниром.

Асмаа Елсайед
 МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОРЯДКА ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ В МОДЕЛИ БЕГЛИ-ТОРВИКА

Ключевые слова: производная дробного порядка, вязко-упругость, полимербетон.

В работе предлагается для решения уравнения в частных производных второго порядка с дробной производной, в котором порядок дробной производной находится в диапазоне от одного до двух и заранее неизвестен. Предлагаемое решение уравнения основано на разделении переменных (метод Фурье). Эта модель используется для характеристики колебательных процессов в вязкой среде. Дана методика определения порядка дробного производства

Ф.А. Галимянов, В.Т. Якупова
 ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ключевые слова: статистический метод, нейронная сеть, обучение, детерминированная функция, оператор усреднения. В данной работе мы использовали метод статистического обучения нейронной сети. Здесь мы не рассматриваем эволюцию вектора весовых коэффициентов w , а алгоритм обучения нейронной сети рассматриваем как циклический. Мы оцениваем только отклонение между целевой функцией $f(x)$ и фактической функцией $F(x, w)$, реализованной в нейронной сети. Здесь под вектором x мы понимаем входной сигнал. Это отклонение выражаем в статистических терминах.

Н.Ю. Жбанова, С.А. Жбанов
 ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С САМОПОДОБИЕМ

Ключевые слова: временные ряды, самоподобие, методы фильтрации.

В статье представлены современные методы фильтрации трафика, такие как алгоритм Бойда и алгоритм Ходрика-Прескотта. Кроме этого описана предложенная авторами модификация алгоритма Бойда. Новый метод предназначен для обнаружения тренда во временных рядах, характеризующихся свойством самоподобия. Предлагаемый подход проиллюстрирован примерами с использованием реальных данных по самоподобному трафику.

The article describes the features of forming a training sample when predicting the second title Boxing match between Deontay Wilder and Tyson Fury. It is proposed to use a neural network of vector quantization of signals as a forecasting tool. The structure of the network and the immediate results of the forecast are shown. A test prototype of a sports prediction system based on neural networks, modeled in the MATLAB software environment, is described.

A.S. Andreev, E.V. Dorogovtseva, E.M. Ryabova
 ON THE MOTION CONTROL OF A HEAVY SOLID BODY AROUND A FIXED POINT

Keywords: heavy solid body, motion stabilization, control synthesis.

The paper proposes a new approach to the motion control of a rigid body with a fixed point, under the influence of gravity, without velocity measurement. The stabilization problems of an arbitrary position as well as stationary motion of a rigid body are solved.

Asmaa Elsayed
 METHOD FOR PARAMETRIC IDENTIFICATION OF THE ORDER OF A FRACTIONAL DERIVATIVE IN THE BEGLEY- TORVIK MODEL

Keywords: fractional PDEs, viscoelasticity, polymer concrete. This paper is proposed for solving a partial differential equation of second order with a fractional derivative, in which the order of the fractional derivative is in the range from one to two and is not known in advance. We propose the numerical solution of the equation is based on the separation of variables (the Fourier method). This model is utilized to characterize oscillatory processes in a viscous medium. A technique for identifying the fractional production order is given.

F.A. Galimyanov, V.T. Yakupova
 APPLICATIONS OF THE STATISTICAL METHOD FOR TRAINING A NEURAL NETWORK

Keywords: statistical method, neural network, training, deterministic function, averaging operator.

In this paper, we used the method of statistical training of a neural network. Here we do not consider the evolution of the vector of weight coefficients w , and we consider the neural network learning algorithm as cyclic. We estimate only the deviation between the objective function $f(x)$ and the actual function $F(x, w)$ implemented in the neural network. Here, by the vector x we mean the input signal. This deviation is expressed in statistical terms.

N.Yu. Zhbanova, S.A. Zhbanov
 FEATURES OF SELF-SIMILARITY TIME SERIES FILTERING

Keywords: time series, self-similarity, filtering.

The article discusses traffic filtering methods, such as the Boyd algorithm and the Hodrick- Prescott algorithm. In addition, a modification of the Boyd algorithm proposed by the authors is described. The new method is designed to detect a trend in time series characterized by the property of self-similarity. The proposed approach is illustrated by examples using real data on self-similar traffic.

С.А. Соловьев, Л.В. Ахметвалеева, О.В. Соловьева
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА
ПОДАЧИ ГАЗА ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Ключевые слова: химический реактор, устройство подачи газа, численное моделирование, гидродинамический расчет.

В данной работе предложены модели устройства подачи газа для нужд нефтехимической или энергетической промышленности. Проведено численное моделирование движения газа в созданных моделях. Рассматриваются различные варианты размеров и расположения элементов подачи газа в системе. Анализ результатов расчета позволил определить оптимальные параметры конструкции, обеспечивающие равномерное распределение скорости газа на форсунках устройств подачи газа.

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Л.В. Ахметвалеева
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ-
РЕАГИРУЮЩЕГО ПОТОКА ГАЗА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ
ЧЕРЕЗ ТРАДИЦИОННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СЛОЙ
КАТАЛИЗАТОРА И КАТАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ
ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕЙСТОГО МАТЕРИАЛА

Ключевые слова: гидрирование ацетилена, высокопористый ячеистый материал, гранулы, конверсия.

Проведено численное исследование процесса гидрирования ацетилена в реакторе с гранулированным катализатором и катализатором на основе высокопористого ячеистого материала. Для уточнения полученных данных проведены экспериментальные исследования. Результаты численного моделирования и экспериментальных исследований хорошо согласуются. Можно сделать вывод, что с увеличением температуры в реакторе массовое содержание ацетилена уменьшается. Высокопористые ячеистые катализаторы демонстрируют существенное преимущество по сравнению с традиционным гранулированным катализатором.

Е.А. Беляев, О.А. Емельянова, А.С. Исаев
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ
ДОКУМЕНТОВ БАНКА РОССИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ
ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
КРЕДИТНО-ФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Ключевые слова: информационная безопасность, кредитно-финансовые организации, оценка рисков.

Методическими документами Банка России определен процесс оценки рисков информационной безопасности кредитно-финансовых организаций, при этом существующие методики не предусматривают формализованного подхода к процессу оценки рисков. В работе рассмотрены проблемы применения методических документов Банка России, а также предложены варианты их решения, путем создания банка данных угроз информационной безопасности кредитно-финансовых организаций и унификации подходов к оценке рисков информационной безопасности организаций банковской системы.

А.С. Исаев, О.И. Луценко, А.А. Симанович
ОБЗОР МЕТОДИК ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО
ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Ключевые слова: аномальное поведение, сетевой трафик, методы обнаружения, методики анализа трафика.

В современном мире проблема повышения защищенности сети не теряет актуальности, и обеспечение кибербезопасности становится все более необходимой задачей каждого предприятия. В работе рассматривается проблема выбора метода обнаружения аномального поведения сетевого трафика с целью повышения уровня защищенности автоматизированной системы в локальной сети предприятия. Проведен сравнительный анализ методов обнаружения аномалий поведения сетевого трафика. В результате проведения анализа были сформированы критерии применимости методов для достижения максимальной эффективности их применения.

S.A. Solovev, L.V. Akhmetvaleeva, O.V. Soloveva
INVESTIGATION OF THE DESIGN OF THE CHEMICAL
REACTOR GAS SUPPLY DEVICE

Keywords: chemical reactor, gas supply device, numerical simulation, hydrodynamic calculation

In this paper, we propose models of a gas supply device for petrochemical or energy industries needs. Numerical simulation of gas flow in the created models is carried out. Various options for the size and location of the gas supply elements in the system are considered. Analysis of the calculation results made it possible to determine the optimal design parameters that ensure uniform distribution of gas velocity on the nozzles of gas supply devices.

O.V. Soloveva, S.A. Solovev, L.V. Akhmetvaleeva
COMPARATIVE CALCULATION OF CHEMICALLY-
RESPONSIVE GAS FLOW THROUGH THE TRADITIONAL
GRANULAR CATALYST LAYER AND THE CATALYST
BASED ON OPEN CELL FOAM MATERIAL

Keywords: acetylene hydrogenation, open cell foam material, granules, conversion.

A numerical study of the process of hydrogenation of acetylene in a reactor with a granular catalyst and a catalyst based on open cell foam material is carried out. To clarify the data obtained, experimental studies were conducted. The results of numerical modeling and experimental studies are in good agreement. We can conclude that with increasing temperature in the reactor, the mass content of acetylene decreases. Open cell foam catalysts show a significant advantage over traditional granular catalysts.

E.A. Belyaev, O.A. Emelyanova, A.S. Isaev
PROBLEMS OF APPLYING THE METHODOLOGICAL
DOCUMENTS OF THE BANK OF RUSSIA IN ASSESSING
INFORMATION SECURITY RISKS OF FINANCIAL
INSTITUTIONS

Keywords: information security, financial institutions, risk assessment.

The Bank of Russia's methodological documents define the process of assessing the information security risks of credit and financial organizations, while the existing methods do not provide for a formalized approach to the risk assessment process. The paper deals with the problems of applying the Bank of Russia's methodological documents, as well as offers options for solving them by creating a database of threats to the information security of credit and financial organizations and unifying approaches to assessing the risks of information security of banking system organizations.

A.S. Isaev, O.I. Lutzenko, A.A. Simanovich
OVERVIEW OF TECHNIQUES FOR DETECTING
ABNORMAL NETWORK TRAFFIC BEHAVIOR

Keywords: abnormal behavior of network traffic, detection methods.

Nowadays ensuring cybersecurity is becoming an increasingly necessary task for every enterprise. It is considering the problem of choosing a method for detecting abnormal behavior of network traffic in order to increase the security level of an automated system in an enterprise's local network. The purpose of enterprise is to profit from production. A comparative analysis of the methods for detecting anomalies in the behavior of network traffic is carried out.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№4 2020

Направления:

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

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

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

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

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

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

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 20.04.2020 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 20.04.2020
5,0 усл.печ.л. 5,8 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2650.

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»