

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№7 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. №7 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 78 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, М.Г. Кузнецов, Р.Х. Шагимуллин, Р.С. Сальманов</i> ГЕНЕРАЦИЯ РЕЗОНАНСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	7
05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Л.С. Ломакина, М.Н. Молчанов</i> РЕФАКТОРИНГ МОДЕЛЕЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СТРУКТУР	11
<i>К.Ю. Плесовских, М.Х. Мухарьямов, Н.П. Ямпурин</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПЛАТФОРМАХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ	14
05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	
<i>М.Л. Хазиев, Е.В. Зубков</i> СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ТРУБООТРЕЗНОГО СТАНКА–АВТОМАТА	18
05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>М.П. Овчинцев, Е.М. Гусакова</i> НАХОЖДЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО НАИЛУЧШЕГО МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ФУНКЦИЙ КЛАССА $H_{1,p(\zeta)}$	21
05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>Т.А. Деменкова, А.С. Боронников</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ	28
<i>Ю.Д. Кореньков</i> МЕТОД ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО АНАЛИЗА ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	32
05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
<i>А.И. Акимов, И.А. Акимов, В.Н. Абузяров</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В СЛОИСТЫХ СРЕДАХ С НЕИДЕАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ КОНТАКТОМ	38
<i>Н.Н. Беспалов, А.В. Волков, А.Д. Ваничкин</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА CORDIC ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ТРЁХФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА	43
<i>Н.Н. Беспалов, А.В. Волков, А.Д. Ваничкин</i> НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	47
<i>Ф.А. Галимянов, П.В. Малов</i> ВЕРОЯТНОСТНО-КОРРЕКТНАЯ В СМЫСЛЕ АППРОКСИМАЦИИ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ	51

<i>А.А. Зайдуллин, О.Ш. Даутов</i> ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СПЕКТРА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ СРЕДУ С ГРАДИЕНТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	54
<i>Е.Н. Минаев</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМОДЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	58
<i>В.А. Молчанова, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАЧИ РЕАГЕНТОВ	62
<i>К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов</i> ПУТИ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕПРОВОДАХ	66

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

<i>А.А. Кочешков, Д.А. Сенькив</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПУБЛИЧНЫХ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ	70
АННОТАЦИИ	73

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov, R.Kh. Shagimullin, R.S. Salmanov GENERATION OF RESONANT ACOUSTIC VIBRATIONS AND THEIR USE 7

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

L.S. Lomakina, M.N. Molchanov REFACTORING SOFTWARE MODELS BASED ON ALGEBRAIC STRUCTURES 11

K.Y. Plesovskikh, M.H. Mukharyamov, N.P. Yampurin PREDICTION OF CONSUMER BEHAVIOR ON THE CUSTOMER DATA PLATFORMS BASED ON DIGITAL TWINS 14

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

M.L. Khaziev, E.V. Zubkov METHOD FOR OBTAINING CONTROL COEFFICIENTS OF THE HYDRAULIC DRIVE OF A PIPE-CUTTING MACHINE 18

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

M.P. Ovchintsev, E.M. Gusakova FINDING THE LINEAR BEST METHOD FOR RECOVERING DERIVATIVES OF CLASS FUNCTIONS $H_{1,p(\zeta)}$ 21

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

T.A. Demenkova, A.S. Boronnikov RESEARCH OF THE PROCESS OF CREATING LIBRARY COMPONENTS USING STANDARD SOFTWARE 28

I.D. Korenkov METHOD OF DOMAIN-SPECIFIC ANALYSIS FOR PROGRAM SOURCES BASED ON SEMANTIC MODELS 32

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

A.I. Akimov, I.A. Akimov, V.N. Abuzyarov MATHEMATICAL MODELING AND DETERMINATION OF HEAT FLUXES IN LAYERED MEDIA WITH NON-IDEAL THERMAL CONTACT 38

N.N. Bespalov, A.V. Volkov, A.D. Vanichkin APPLICATION OF THE CORDIC ITERATIVE METHOD FOR THE IMPLEMENTATION OF THE THREE-PHASE GENERATOR ALGORITHM 43

N.N. Bespalov, A.V. Volkov, A.D. Vanichkin HIGH PRESSURE NEURAL NETWORK SODIUM LAMP 47

F.A. Galimyanov, P.V. Malov PROBABILITY-CORRECT IN THE MEANING OF APPROXIMATION TRAINING MODEL 51

A.A. Zaydullin, O.Sh. Dautov CHANGE IN THE PHASE SPECTRUM OF A RADAR PULSE WHEN PROPAGATING THROUGH AN INHOMOGENEOUS MEDIUM WITH A GRADIENT CHANGE IN THE WAVE RESISTANCE 54

E.N. Minaev MATHEMATICAL SIMULATION OF CONVECTIVE DIFFUSION OF DISSOLVED OXYGEN BY AUTOMODELING SOLUTION 58

<i>V.A. Molchanova, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov</i> INCREASING THE EFFICIENCY OF THE DOSING DEVICE FOR REAGENT FEEDING	62
<i>K.R. Urazakov, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov</i> WAYS TO REDUCE THE INTENSIFICATION OF CORROSION PROCESSES IN OIL PIPELINES	66

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

<i>A.A. Kocheshkov, D.A. Senkiv</i> INFORMATION SECURITY OF PUBLIC CLOUD SERVICES	70
---	----

ABSTRACTS	73
------------------	----

05.13.06

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ²М.Г. Кузнецов канд. техн. наук,
³Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ¹Р.С. Сальманов канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
¹факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра Физики,
²факультет пищевой инженерии,
кафедра Оборудования пищевых производств,
³Главный редактор «Научно-технического вестника Поволжья»,
Казань, yerus@yandex.ru, max-kuzz@ya.ru, shagimullin@ntvp.ru

ГЕНЕРАЦИЯ РЕЗОНАНСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Рассмотрены конструкции генераторов акустических колебаний. Приводятся данные экспериментальных исследований работы генераторов в резонансном режиме. Предложено определять пригодность акустических генераторов в зависимости от выполнения концов акустической трубы.

Ключевые слова: Генератор акустической энергии, поршневой акустический нагнетатель, газовая струя.

В работе [1] при исследовании колебаний газа в трубе с соплом была показана возможность генерации газовых потоков, обладающих огромной кинетической энергией.

Основой установок, генерирующих акустические колебания, является резонансная труба с обоими открытыми концами или с одним открытым и другим закрытым концом [2].

На рис.1 показан генератор с резонансной трубой, имеющей оба открытых конца [2].

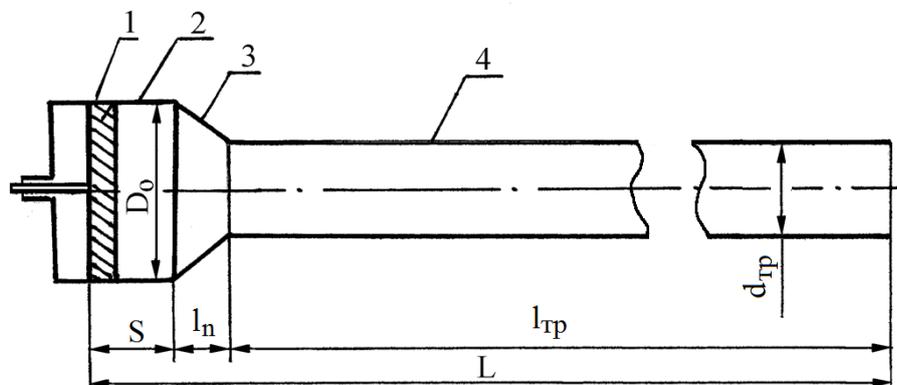


Рис. 1 - Поршневой акустический нагнетатель газа: 1 – рабочая камера; 2 – поршень; 3 – конусный переходник; 4 – резонансная труба.

Генератор способен выбрасывать из резонансной трубы газовую струю, обладающую огромной кинетической энергией. Максимальная производительность нагнетателя будет в резонансном режиме его работы, когда частота колебаний поршня совпадет с частотой колебаний столба газа в нагнетателе.

Дать аналитическую зависимость частоты колебаний поршня при резонансе от геометрических параметров нагнетателя не представляется возможным из-за сложной аэродинамической обстановки в нагнетателе.

Общую длину нагнетателя можно представить формулой:

$$L = S + l_n + l_{тр}, \quad (1)$$

где S – длина хода поршня; l_n - длина конусного переходника; $l_{тр}$ - длина резонансной трубы.

В неявном виде частота резонансных колебаний нагнетателя зависит от следующих параметров:

$$\omega_p = f(D_o; d_{тр}; S; l_n; l_{тр}), \quad (2)$$

где D_o - диаметр рабочей камеры; $d_{тр}$ - диаметр резонансной трубы; S - глубина хода поршня; l_n - глубина конусного переходника; $l_{тр}$ - длина резонансной трубы.

Следует также иметь ввиду, что при работе нагнетателя происходит всасывание газа из окружающего пространства в резонансную трубу с последующим выбросом этого же газа в окружающее пространство.

Если поршень колеблется с частотой резонансных колебаний, то в этом случае будет справедливо следующее уравнение [3, 4]:

$$\frac{\omega_p L_{\text{э}}}{c_0} = \frac{\pi}{2}, \quad (3)$$

где c_0 - скорость звука в невозмущенной среде; $L_{\text{э}}$ - эффективная длина нагнетателя.

Параметр $L_{\text{э}}$ необходимо знать для настройки нагнетателя на резонанс и его можно определить из уравнения:

$$L_{\text{э}} = \frac{c_0}{4f}, \quad (4)$$

где f - частота возвратно-поступательного движения поршня.

В нагнетателе, имевшем $l_{тр} = 3,5$ м, $d_{тр} = 40$ мм, $S = 40$ мм и $f = 2 \dots 40$ Гц, скорость вытекающей из трубы газовой струи составила 133 м/с. С учетом поступления в трубу из окружающего пространства свежего газа производительность нагнетателя составляет 35,8 л/с. Производительность поршневого компрессора при одинаковых энергозатратах равна 8,71 л/с, т.е. в четыре с лишним раза меньше.

Генераторы с открытыми обоими концами резонансной трубы экономически выгодно использовать в следующих технологических процессах:

- кондиционирование воздуха в крупногабаритных помещениях различного назначения [3, 4];
- охлаждение пищевого сырья в сельскохозяйственных хранилищах [5];
- сушка материалов в дисперсном состоянии [6];
- очистка воды от нерастворимых жидких и твердых взвесей;
- выпаривание растворов [7].

На рис.2 показан поршневой акустический резонатор-воспламенитель, в котором резонансная труба собрана из царг, каждая последующая из которых по направлению от поршня имеет меньший диаметр, чем диаметр предыдущей царги, а торец последней царги заглушен [8].

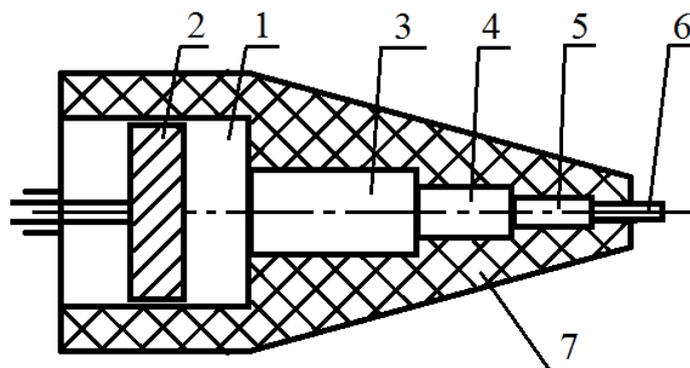


Рис. 2 - Поршневой акустический резонатор-воспламенитель:
1 – рабочая камера; 2 – поршень; 3, 4, 5, 6 – царги; 7 – теплоизоляция

Рабочей средой в резонаторе-воспламенителе может использоваться воздух или какой-либо другой газ.

В резонансном режиме пульсации поршня приводят к колебаниям столба газа в царгах. Эти колебания сопровождаются втеканием газа в царги и вытеканием его из них, что вызывает генерацию в резонансной трубе периодических ударных волн. Периодические колебания скорости газа большой амплитуды в резонансной трубе вызывают нагрев ее заглушенного конца до температуры порядка 1000°C и выше.

Поршневой акустический резонатор-воспламенитель может быть использован для нагрева различных жидких сред и смол, а также для воспламенения горючего газа.

На рис.3 показан газодинамический воспламенитель [8], в котором газ под давлением поступает в газоподающую трубу и через сопловой насадок выбрасывается в многоступенчатую резонансную трубу.

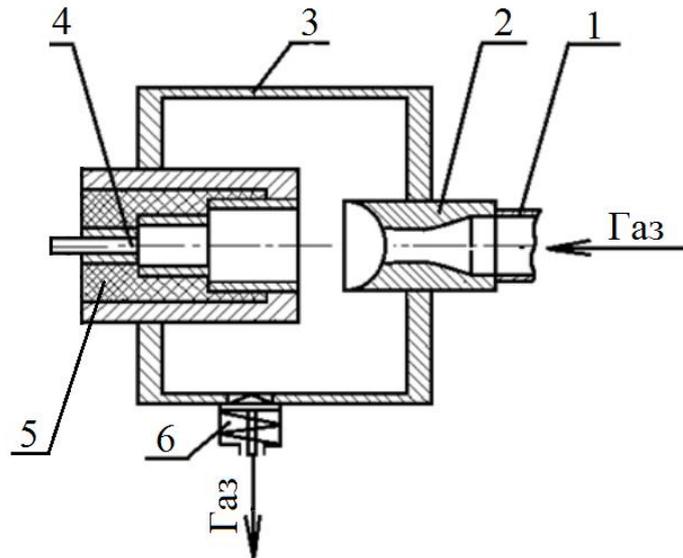


Рис. 3 - Газодинамический воспламенитель: 1 – газоподающая труба; 2 – сопловой насадок; 3 – акустическая камера; 4 – резонансная труба; 5 – теплоизолятор; 6 – обратный клапан

Взаимодействие вытекающей с большой скоростью из соплового насадка газовой струи с колеблющимся в резонансной трубе столбом газа приводит к возникновению в воспламенителе акустических колебаний. Эти колебания сопровождаются втеканием газа в резонансную трубу и вытеканием его из нее в акустическую камеру, что вызывает генерацию периодических ударных волн.

Обратный клапан на акустической камере остается в закрытом положении, предохраняя полость камеры и резонансную трубу от воздействия внешней среды. При работающем воспламенителе воздух сбрасывается с акустической камеры через обратный клапан наружу камеры.

На рис.4 показан газодинамический генератор акустических колебаний, пригодный для использования в качестве теплообменника, парогенератора, гидрореактивного движителя, агрегата по очистке от снега и льда взлетнопосадочных полос аэродромов и для других целей.

Горючая смесь под давлением поступает по подводящему газопроводу 4 в генератор и через отверстия в перфорированной перегородке входит отдельными равномерно распределенными по сечению камеры струями в рабочий объем камеры. От свечи зажигания горячая смесь воспламеняется. Горение горючей смеси в камере в пространстве между перфорированной перегородкой и полым кольцом приводит к самовозбуждению колебаний потока. Это пространство камеры работает, как генератор колебаний газа с максимально достижимой температурой и еще недостаточно сильным проявлением пульсационного теплопереноса. При прохождении полого кольца сгорающая горючая смесь смешивается со

свежей порцией воздуха, поступающего в полое кольцо по газопроводу 5 и выходящего равномерно распределенными по сечению камеры струями через отверстия в полем кольце от периферии к центру. Такая аэродинамическая обстановка обеспечивает сильную турбулилизацию взаимодействующих газовых потоков, интенсивное перемешивание свежего воздуха с горячей смесью горючего газа. В пространстве камеры за полым кольцом температура газовой смеси и амплитуда пульсаций скорости потока резко возрастают, что приводит к повышению пульсационного теплопереноса и существенному увеличению скорости теплоотдачи в трубах. Вода, поступающая в кожух из водного пространства, забирает тепло от стенок камеры и труб, переходит в парообразное состояние и с огромной скоростью в виде парового факела выбрасывается в водную среду.

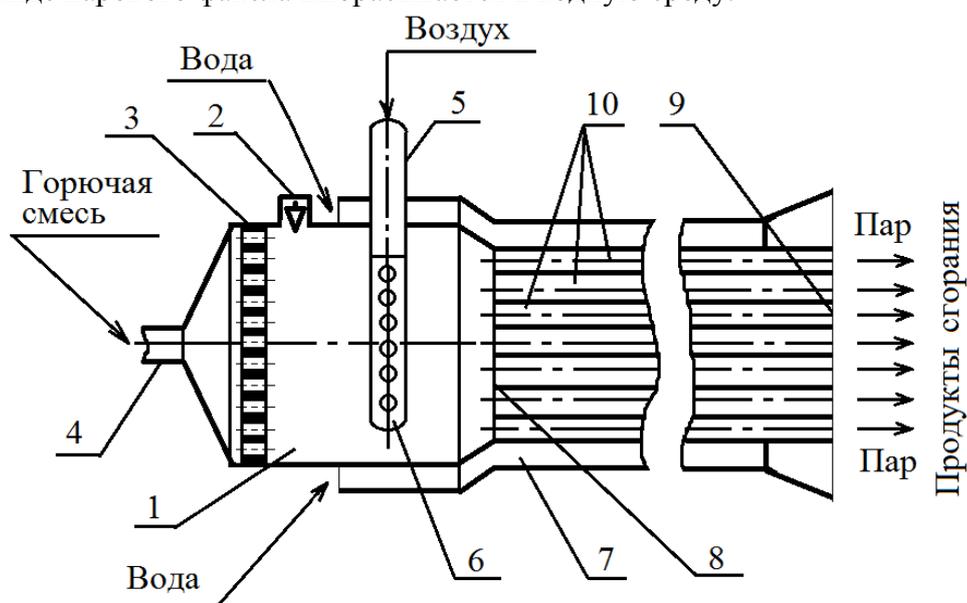


Рис. 4 - Газодинамический генератор акустических колебаний: 1 – камера; 2 – свеча зажигания; 3 – перфорированная перегородка; 4, 5 – подводящие газопроводы; 6 – полое кольцо с отверстиями; 7 – кожух; 8, 9 – трубные решетки; 10 – трубы

Продукты сгорания горючей смеси выбрасываются из труб в виде струй, создавая, как и паровой факел, реактивную тягу.

Генератор пригоден также к использованию в качестве гидрореактивного движителя.

Выводы

1. Экспериментально подтверждена возможность получения высокой акустической энергии в акустических резонаторах.
2. Область использования акустических резонаторов определяется конструктивными особенностями выполнения входящих в него элементов.

Список литературы

1. *Зарипов Р.Г.* Исследование колебания газа в трубе с соплом при наличии среднего потока. Изв. ВУЗов. Авиационная техника. – 1980. №3. – С.50-54.
2. А.С. 1183708 СССР (1985).
3. А.С. 126423 СССР (1986).
4. А.С. 1346855 СССР (1987).
5. А.С. 1492081 СССР (1989).
6. А.С. 1613704 СССР (1990).
7. Патент РФ 58950 (2006).
8. Патент РФ 159798 (2016).

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

05.13.01

Л.С. Ломакина д-р техн. наук, М.Н. Молчанов

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

**РЕФАКТОРИНГ МОДЕЛЕЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СТРУКТУР**

В работе представлен алгоритм применения алгебраических структур в рефакторинге, показана его математическая основа, а также приводится возможность его комбинации с методами рефакторинга моделей программ, основанными на паттернах проектирования.

Ключевые слова: *алгебраические структуры, рефакторинг, шаблоны проектирования.*

Рынок программных систем, применяющихся в различных областях науки и производства, в настоящее время развивается стремительными темпами, количество программ увеличивается практически ежедневно. Некоторые продукты появились относительно недавно, а некоторые продолжают существовать, разрабатываться и обрывать новым функционалом по несколько десятков лет. Поэтому одной из важных задач в этой области стала задача улучшения качества кода, его внутренней структуры, ведь он, возможно, писался десятками различных программистов в разное время и с разным опытом и требованиями к функционалу.

Рефакторинг моделей программ.

Рефакторинг программного кода — это процесс изменения его структуры таким образом, чтобы не затрагивалось внешнее поведение исходного кода. Одна из основных целей этого процесса - облегчение понимания программного кода человеком и, пусть и не всегда, оптимизация производительности программы, вследствие чего код начинает работать быстрее.

В основе рефакторинга лежит последовательность небольших преобразований программного кода, сохраняющих его поведение. Так как каждое преобразование по объёму незначительно, то программисту легче проследить за его правильностью, а вся последовательность этих изменений может привести к существенной перестройке программы и улучшению её согласованности, четкости и простоты понимания её кода другими разработчиками.

Сведения из теории алгебраических структур.

Алгебраической системой принято называть некоторое множество G (именуется носителем) с заданным на этом множестве набором различных операций и отношений (то есть сигнатурой). При этом есть частные случаи: алгебраическую систему с пустым множеством отношений называют алгеброй, а систему с пустым множеством операций — моделью.

Решёткой называют [1] множество (L, \leq) с заданным на нём отношением частичного порядка, при этом для каждой пары элементов $\{x, y\} \subseteq L$ должны существовать точные верхняя и нижняя грани ($\sup\{x, y\}$ и $\inf\{x, y\}$).

Введем, основанное на предыдущих, и понятие LP-структуры. К этому определению отнесем алгебраическую систему, которая представлена решеткой, на которой, в свою очередь, зададим некоторое бинарное отношение с логико-продукционными (Logical Produce, откуда и название) свойствами. К ним относят:

- 1) рефлексивность $(\forall x \in M: (xRx))$,
- 2) транзитивность $(\forall x, y, z \in M: (xRy \cap yRz \rightarrow xRz))$,
- 3) дистрибутивность, где M -некоторое множество.

Последнее свойство подразумевает, что с помощью операций объединения и пересечения \cup и \cap , свойственных решеткам как структурам, появляется возможность логического вывода по частям и последующего объединения его результатов.

Обычно LP-структуры применяются в тех системах [2], которые подразумевают монотонный вывод, но это не всегда так. Для некоторых задач построенные модели не будут обладать этим свойством, однако, применение решеток возможно и там. Примером подобной задачи будет задача, основанная на использовании решетки типов. В качестве алгебраической решетки представим структуру типов такой объектно-ориентированной системы. Для того, чтобы задать отношение частичного порядка \leq , формализуем отношение наследования между типами, таким образом: если некоторый тип b является наследником некоторого типа a , то $b \leq a$. Тогда становится несложно определить *объединение* и *пересечение* этих двух типов. В их ролях будут выступать соответственно ближайший общий тип-предок и ближайший общий тип-потомок. Также, для придания свойства ограниченности такой решетки, введем дополнительные элементы: I – некоторый универсальный тип (предок, общий для всех типов) и O – некоторый фиктивный потомок всех типов.

Введем также и отношение R , соответствующее агрегации типов: если некоторый объект типа a содержится в типе b в качестве атрибута, то считаем $(b, a) \in R$. Это отношение, как и рассмотренное ранее (\leq и R), будут иметь общую семантику, то есть в любом из случаев, если $b \leq a$ или $(b, a) \in R$, то тип b получит возможности a при помощи доступа к его атрибутам. Также следует учесть, что общее отношение $\leftarrow (R)$ (назовем его отношением «обладания набором возможностей») должно удовлетворять свойствам рефлексивности и транзитивности. В [3] рассказывается подробнее, что это логико-продукционное отношение обладает еще и ограниченным свойством дистрибутивности. Это означает, что оно будет содержать в себе заодно и семантику автоматического решения задачи «поднятия» общих атрибутов по иерархии типов, которая относится к задачам рефакторинга в объектно-ориентированном программировании. Из чего можно сделать вывод, что LP-структура, построенная в соответствии с вышеописанными условиями, дает возможность производить автоматизированные исследования иерархий типов, включая, в том числе, верификацию (использование формальных методов для доказательства правильности или неправильности программы по формальному описанию ее свойств), эквивалентные преобразования (результат вывода программы не должен изменяться после различных преобразований), и минимизацию (количество связей должно уменьшаться до минимального предела, не затрагивающего основной функционал программы).

UML-диаграммы программ.

UML-модель M – это представление исходного кода программы в виде совокупности некоторого множества элементов и связей. Данное множество будет конечно, так как конечен и набор связей и элементов в коде.

Рефакторингом на основе шаблона проектирования $P(r_1, r_2, \dots, r_n)$ – будем называть следующее $PR(p_1, p_2, \dots, p_s, v_1, v_2, \dots, v_m, q_1, q_2, \dots, q_k): M \rightarrow M'$. преобразование, являющееся рефакторингом, преобразующим модель M в M' , причем параметры рефакторинга связаны с ролями шаблона определенным образом. Каждому из параметров $p_i, 1 \leq i \leq s$ и $q_j, 1 \leq j \leq k$. соответствует одна из ролей $r_t, 1 \leq t \leq n$ шаблона P того же типа. Каждой роли соответствует либо один из входных параметров $p_i, 1 \leq i \leq s$, либо один из выходных параметров $q_j, 1 \leq j \leq k$. рефакторинга, либо один из входных $p_i, 1 \leq i \leq s$ и один из выходных $q_j, 1 \leq j \leq k$. параметров. Последнее возможно только в том случае, когда элементу модели соответствуют как входной, так и выходной параметры рефакторинга, т.е. этот элемент изменяется в ходе рефакторинга.

При применении рефакторинга PR к модели M в полученной модели M' обнаруживается экземпляр шаблона P, означивание которого полностью определяется фактическими значениями параметров применённого рефакторинга.

Алгоритм для использования LP-структур совместно с паттернами проектирования в рефакторинге.

0) Составляем список шаблонов, по которым будут произведены изменения на основе LP-структур.

1) Создаем UML-диаграмму (модель M) по отрывку исходного кода

2) Анализируем ее на наличие "плохих запахов кода"(список признаков, перечисленный ранее, указывающий на признаки такого кода, которому необходим рефакторинг.)

3) Последовательно применяем к полученной на первом шаге модели (M) возможные рефакторинги, основанных на решетках (LP-структурах), а также набор базовых и комбинированных рефакторингов, основанных на паттернах проектирования.

4) В результате шагов 1-3 получаем измененную модель M'

5) Вычисляем для исходной и полученной моделей (M и M' соответственно) некоторые метрики, по которым можно будет оценить насколько эффективны проведенные преобразования.

6) Сравнение и вывод метрик и отображение пользователю изменений, для того, чтобы он также мог увидеть, что же именно произошло с исходной моделью, сравнить ее визуально с исходной и отменить часть преобразований при необходимости.

Заключение

В работе показано, что алгебраические структуры имеют широкий потенциал для применения в задачах рефакторинга ПО. Отношения, которые задаются на них, могут обладать свойствами «поднятия атрибутов по иерархии типов», что является одной из важных задач рефакторинга.

Представленный алгоритм, описывает совместное применение групп преобразований как основанных на операциях над алгебраическими структурами, так и на паттернах проектирования, что подтверждает его достоверность и открывает широкие возможности по дальнейшему улучшению и практическому применению.

Список литературы

1. Биркгоф Г. Теория решеток. 3-е изд., пер. с англ., М.: Наука, 1984.
2. Скорняков Л.А. Элементы теории структур. Изд. 2, пер. и доп. Букинист. 1982. 160 с.
3. Махортов С.Д. Алгебраические модели иерархий типов для проектирования и рефакторинга / С. Д. Махортов, М. Д. Шурлин // Онтология проектирования. – 2012. – № 1(3). – С. 73–79.

05.13.01

¹К.Ю. Плесовских канд. техн. наук, ¹М.Х. Мухарьямов, ²Н.П. Ямпурин д-р техн. наук¹ИТ компания Лад,²Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева, кафедра “Конструирование и технология радиоэлектронных средств”, plesovskixky@lad24.ru, marat@lad24.ru, yampurin@apingtu.edu.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПЛАТФОРМАХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

В работе исследована возможность применения цифровых двойников в ритейле к задаче прогнозирования поведения клиента для повышения эффективности маркетинговых взаимодействий с клиентами. Выделен графовый подход как обладающий существенным преимуществом по учету взаимосвязи между данными пользовательского профиля. Модель прогнозирования поведения пользователя предложено строить с применением графовой нейронной сети.

Ключевые слова: цифровые двойники, платформы данных о пользователях, прогнозирование поведения клиента.

Введение

Одним из трендов развития взаимоотношений между потребителями и ритейлом являются персонафицированные коммуникации. Такой способ продвижения представляет собой формирование предложений с подстройкой под интересы и потребности каждого конкретного клиента, в результате чего вместо навязчивой рекламы, потребители получают только предложения о покупке тех товаров или услуг, которые действительно могут представлять для них интерес, с персональной скидкой и именно в тот момент, когда они наиболее предрасположены к совершению данной покупки. Этот вид коммуникаций зародился в узких нишах удовлетворения потребностей высокообеспеченных клиентов, т.к. требовал серьезных трудозатрат по изучению каждого конкретного клиента, но с развитием технологий рекомендательных систем начал проникать и на массовые рынки онлайн-ритейла.

Дальнейшее развитие персонафицированных коммуникаций предполагает переход в отрасль классического ритейла, который имеет возможность накапливать историю взаимодействия с клиентом на основе данных о его покупках и результатах маркетинговых кампаний на платформе данных о клиентах (Customer Data Platform, CDP). Однако рекомендательные системы пока еще не достигли в полной мере необходимой точности в текущем моменте времени и не позволяют строить качественных прогнозов пользовательского поведения в будущем, поэтому существует потребность дальнейшего поиска методик прогнозирования пользовательского поведения в применении к маркетинговым взаимодействиям с клиентом.

Цель работы - исследовать возможность применения цифровых двойников в ритейле к задаче прогнозирования поведения клиента для повышения эффективности маркетинговых взаимодействий с клиентами.

Актуальность работы - в процессе исследования удалось найти лишь несколько работ исследователей из РФ, посвященным применению цифровым двойников [1,2], основная масса публикаций приходится на США, Китай, Индию, и датирована 2019-2020 гг, что свидетельствует о том, что данная область исследований находится в стадии активного развития.

1. Современное состояние платформ пользовательских данных о клиентах

Платформы данных о клиентах появились как реакция на потребность бизнеса в более качественном инструменте по работе с клиентом, наделенном функционалом хранения

данных о каждом пользователе и системой многоканальных коммуникаций. Старые инструменты, хотя и полезные для своих целей, имели разные хранилища данных. В системах управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) хранились контакты, история пользовательских покупок и взаимодействия с ним. В платформах управления данными (DMP) хранилась история пользовательских предпочтений, маркетинговые сегменты пользователей и т.п., поэтому маркетологи не могли продуктивно использовать все данные применительно к конкретному пользователю.

CDP решили эту проблему, предложив унифицированное представление клиентов, которое собирает данные о клиентах в единую комплексную платформу, решает проблему фрагментированных, разрозненных данных, а также помогает планировать и проводить кампании, умеет работать со сторонними данными, сегментировать пользователей, создавать стратегии лояльности.

База данных в CDP автоматически обновляется из множества собственных источников и от сторонних поставщиков. Собранные данные автоматически структурируются в едином профиле клиента, позволяя персонализировать каждое взаимодействие с ним и предложить услугу, максимально удовлетворяющую его персональные потребности.

Профиль клиента, как правило, включает в себя контактные данные, имя, возраст, пол, местоположение, профили социальных сетей, профессию, транзакционные данные - информация о совершенных покупках или действиях на сайте - регистрация, подписка, добавление товара в корзину и т.п. и поведенческие данные - рейтинг кликов (CTR), количество посещенных веб-страниц и взаимодействие с соц. сетями.

2. Реализация CDP

Существует несколько вариантов реализации CDP в зависимости от степени внедрения в механизмы CDP алгоритмов аналитики и интеллектуального анализа данных [3].

1. CDP только для сбора данных позволяют компаниям собирать данные из нескольких источников, обеспечивать единый профиль клиента, сегментировать пользователей для улучшения таргетинга.

2. CDP с данными и аналитикой дополнительно имеет функционал построения аналитических отчетов, автоматически отслеживают любые изменения в предпочтениях клиента, строят прогнозы.

3. Данные, аналитика и вовлечение клиентов. CDP такого типа дополнительно способны автоматически выбирать предпочтительный канал коммуникации и персонализировать контент рассылки для каждого клиента на основе истории взаимодействий и прогнозируемого поведения.

4. CDP с алгоритмами машинного обучения и интеллектуальными алгоритмами могут определять лучшие продукты и решения для клиентов, делать прогнозы относительно будущей деятельности клиента, персонализировать маркетинговые кампании в режиме реального времени, взаимодействуя с клиентами прямо в момент их интереса.

Существует множество методов, которые позволяют моделировать поведение клиента, чтобы предсказать его. Большинство из них основаны на количественном определении риска на основе статических данных и метрик, то есть информации о клиенте на текущий момент времени. Самый простой из них известен как метод сегментации (Recency, Frequency, Monetary - RFM). В основе RFM лежит идея, что маркетологи могут получить глубокое понимание своих клиентов, анализируя три количественных фактора: актуальность, частоту и монетизацию [4].

Актуальность показывает, сколько времени прошло с момента последней активности клиента или сделки с брендом. Чем меньше прошло времени, тем больше вероятность того, что клиент будет реагировать на сообщения бренда.

Частота показывает, как часто клиент взаимодействовал с брендом или взаимодействовал с ним в течение определенного периода времени. Клиенты с частой деятельностью более активны и, вероятно, более лояльны, чем клиенты, которые редко делают это. И единовременные клиенты находятся в своем классе.

Монетизация отражает, сколько клиент потратил на бренд за определенный период времени и среднюю сумму покупки.

Несмотря на простоту реализации метод имеет весьма существенный недостаток - он игнорирует многочисленные факторы, которые могут указывать на то, как клиент будет действовать в будущем. Наиболее распространенные модели действительно предсказательного поведения основаны на статистических методах, методах анализа данных и теории игр, таких как логистическая регрессия и байесовские вероятностные модели. Эти подходы предлагают некоторую ценность и могут правильно идентифицировать определенный процент клиентов из группы риска, но в большинстве случаев их точность оказывается недостаточной без учета изменения во времени [5].

В данной работе предлагается альтернативный подход к повышению точности прогнозирующих моделей за счет применения в CDP технологии цифровых двойников.

3. Применение цифровых двойников в ритейле

Появление концепции цифровых двойников (DT- digital twin) было связано с ростом цифровизации производственных процессов, в ходе которой физические или аналоговые ресурсы заменялись цифровыми. Наиболее распространенной областью DT является интернет вещей (IoT), производственные процессы и симуляция механических систем.

DT в производстве - это цифровое моделирование физической машины, с помощью которого тестируются несколько сценариев продукта. Прогнозирование потребностей клиента для ритейла также является областью, где DT может быть настолько же эффективен как и в физическом моделировании. В области ритейла под цифровым двойником может пониматься цифровое представление поведения реального объекта в отношении совершения покупок.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на точность прогнозирования потребностей клиента является время. Момент готовности клиентом совершить покупку в некоторых случаях может быть всего нескольких минут, после чего клиент может сделать выбор в пользу конкурирующего продукта. Вместо того, чтобы полагаться на анализ исторических данных можно заставить цифрового двойника динамически отслеживать поведение клиентов, например, продукты, которые они потребляют, их удовлетворенность. Правильный продукт в нужное время может быть получен путем создания подходящих моделей машинного обучения для этого динамического набора данных, и эта обученная модель сохраняется в цифровом двойнике. Одним из существующих примеров реализации данного подхода является технология Tarantool Data Grid [6], но она предназначена для производственных процессов и в ритейле не применяется.

4. Выбор метода реализации цифровых двойников для ритейла

Существуют различные методы реализации цифровых двойников, однако самодостаточным для построения моделей пользовательского поведения является графовый подход, который основан на построении онтологий из собираемых о пользователе данных и генерации графа знаний. Существенным преимуществом такого подхода является учет взаимосвязей между данными с помощью ребер графа, помогающий извлекать семантические отношения между объектами.

В настоящий момент такой подход уже применяется к построению цифровых двойников в сфере IoT [7,8] и для управления знаниями [9]. Он состоит из двух уровней: слой микроблогов, который упрощает взаимодействие пользователей со всей системой, и семантический движок, который комбинирует семантическое индексирование и поиск в микроблогах и пользователях.

5. Методика реализации цифрового двойника пользовательского поведения на платформе пользовательских данных

Именно графовый подход выбран за основу в данной работе с заменой онтологий на категории пользовательских действий - покупки, виртуальные и физические действия, характеристики времени.

Модель прогнозирования поведения пользователя строится путем извлечения подграфов из единого пользовательского профиля. Затем данные графов преобразуются в графовые эмбединги для передачи в графовую нейронную сеть, пример такой сети подробно рассмотрен в статье Battaglia P. W. и др. [10] В качестве вывода сети получается тот же граф с прогнозируемыми значениями свойств узла. Эти предсказанные свойства могут быть использованы для классификации концепций подграфов аналогично описанной выше методике реконфигурирования цифровых двойников.

В результате применения описанной методики становится возможным встраивание моделей цифровых двойников в платформы пользовательских данных для прогнозирования пользовательского поведения и повышения эффективности управления рекламными кампаниями.

Выводы

Модели цифровых двойников успешно развиваются в таких отраслях как IoT и производство, где цифровая модель объекта позволяет строить прогнозы его состояния в будущем периоде и своевременно предпринимать действия в случае неблагоприятных ситуаций.

Платформы данных о пользователях, применяемые в ритейле, позволяют собирать данные о каждом конкретном пользователе в единый профиль столь же эффективно, как и платформы IoT. Внедрение в них модели цифровых двойников позволяет прогнозировать пользовательское поведение пользователя. В ритейле под цифровым двойником потребителя понимается цифровая модель его поведения, данными для которой служит информация о покупках пользователя, истории взаимодействия с ним, иные способы выражения его интересов - переходы на сайт, чтение рассылок и т.п.

Среди технологий реализации цифровых двойников графовый подход выделен как обладающий существенным преимуществом по учету взаимосвязи между данными пользовательского профиля. Модель прогнозирования поведения пользователя предложено строить за счет выделения подграфов из пользовательского профиля и построения прогнозов пользовательского поведения с применением графовой нейронной сети.

Список литературы

1. *Медведев А.В.* Цифровые двойники территорий для поддержки принятия решений в сфере регионального социально-экономического развития // *Современные наукоемкие технологии.* – 2020. – № 6-1. – С. 61-66; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38072> (дата обр.: 01.07.2020).
2. *Чэн Чжэ* Совершенствование процесса проектирования мужского белья: автореф. дис. канд т наук: 05.19.04. Иваново, 2019.
3. Best Customer Data Platform (CDP) Software // *Black lives matter* URL: <https://www.g2.com/categories/customer-data-platform-cdp> (дата обращения: 01.07.2020).
4. RFM Segmentation // *optimove* URL: <https://www.optimove.com/resources/learning-center/rfm-segmentation> (дата обращения: 01.07.2020).
5. Predictive Behavior Modeling // *optimove* URL: <https://www.optimove.com/resources/learning-center/predictive-behavior-modeling> (дата обр.: 01.07.2020).
6. *Tarantool* // URL: <https://www.tarantool.io/ru/datagrid/> (дата обр.: 01.07.2020).
7. *Zhang C. et al.* A reconfigurable modeling approach for digital twin-based manufacturing system // *Procedia CIRP.* – 2019. – Т. 83. – С. 118-125.
8. *Banerjee A. et al.* Generating digital twin models using knowledge graphs for industrial production lines // *UMBC Information Systems Department.* – 2017.
9. *Penela, V., Alvaro, G., Ruiz, C., Cordoba, C., Carbone, F., Castagnone, M., Gomez-Perez J., and Contreras, J.* *mikrow: Semantic intra-enterprise microknowledge management system.* *Semantic Web: Research and Applications* (2011), 154–168.
10. *Battaglia P.W. et al.* Relational inductive biases, deep learning, and graph networks // *arXiv preprint arXiv:1806.01261.* – 2018.

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

05.13.06

М.Л. Хазиев, Е.В. Зубков канд. техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Набережные Челны, marathaziev@yandex.ru

**СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА
ТРУБОУТРЕЗНОГО СТАНКА-АВТОМАТА**

В работе рассмотрен принцип работы гибридной нейро-нечеткой сети получения коэффициентов регулирования ПИ-регулятора гидравлического привода станка-автомата отрезки труб и обточки фасок. ПИ-регулятор функционирует совместно с диагностической интеллектуальной (экспертной) системой станка, на основе поступающих от нее данных, и, с использованием аппроксимирующей нейро-нечеткой сети, рассчитываются требуемые коэффициенты регулирования, и производится непосредственное регулирование элементами гидропривода станка. Предложенная система повышает энергоэффективность такого типа привода без потери качества управления.

Ключевые слова: станок-автомат, гидравлический привод, нейро-нечеткая сеть, ПИ-регулирование.

Для обеспечения энергоэффективного регулирования без потери качества управления с использованием интеллектуальной системы раннего диагностирования состояния гидравлического привода станка-автомата [1] была поставлена задача о модернизации системы регулирования гидравлической подсистемой станка-автомата отрезки труб и обточки фасок. Предложен способ расширения диапазона регулирования автоматической системы регулирования без потери устойчивости и получен патент РФ на изобретение № 2619746 [2]. Суть изобретения представляет собой ПИ-закон регулирования с обязательной коррекцией текущей ошибки регулирования Δe .

На рисунке 1 приведена расширенная структурная схема системы автоматической регулирования гидравлического привода станка-автомата отрезки труб и обточки фасок. Данная схема построена по методологии функционального моделирования IDEF0.

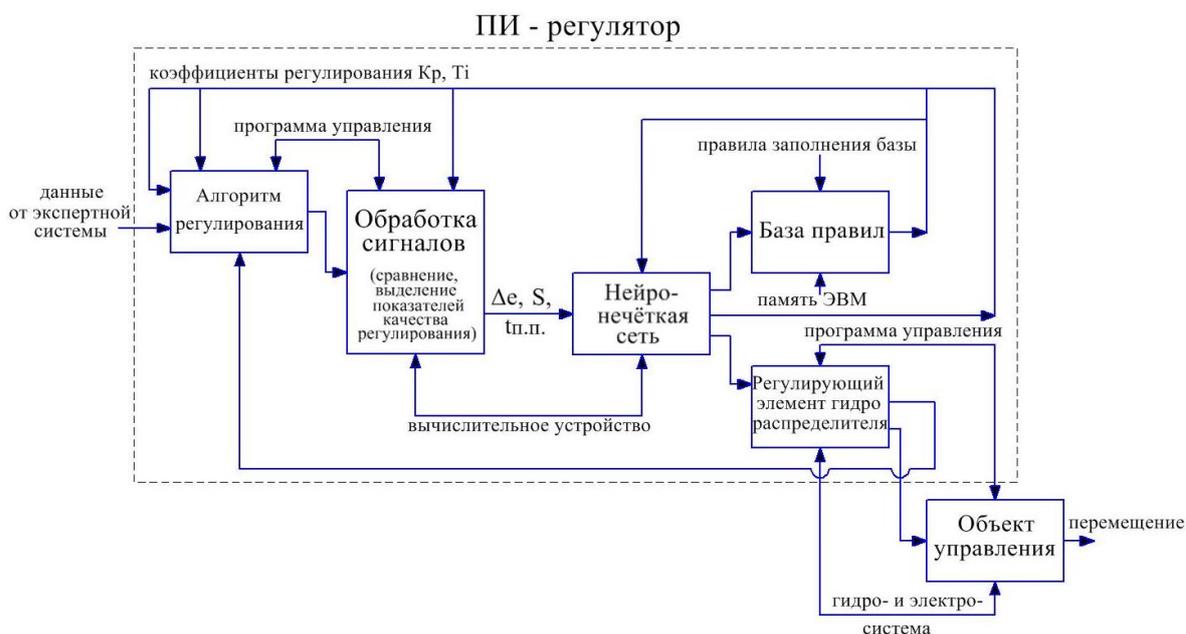


Рис. 1 – Система автоматического регулирования гидропривода станка-автомата

Блок "Алгоритм регулирования" (рис.1) содержит совокупность точно заданных наборов инструкций, описывающих порядок действий привода станка-автомата. На вход данного блока подаются сведения, полученные от агента анализа о характере изменения измеряемых данных после выявления центра статистического кластера этих данных. Если центр кластера выше или ниже определенного заданного значения какого-то из параметров, то вносятся изменения в алгоритм регулирования. Также важно учитывать значения коэффициентов регулирования на этапах задания и изменений их во времени [3].

Блок "Обработки сигналов" (рис. 1) содержит этапы работы программы управления, в которых происходит сравнение полученных коэффициентов с заданными значениями. Также здесь выделяются три основные характеристики показателя переходного процесса – величина перерегулирования в течение переходного процесса, время переходного процесса, статическая ошибка в установившемся режиме. Числовые значения этих характеристик используются для работы блока гибридной "Нейро-нечеткой сети" (рис. 1)

С целью точного и быстрого получения значений пропорциональных K_p и интегральных T_i параметров ПИ-регулятора относительно значений показателей переходного процесса, предлагается использование аппроксимирующей модели типа нейро-нечеткой (гибридной) сети. Итоги работы сети вносятся в "Базу правил" (рис. 1).

Построение нейро-нечеткой (гибридной) сети начинается с определения ее параметров. Выбор весовых значений и уровней пороговых значений требует обучения, то есть, поэтапного изменения значений весовых коэффициентов и пороговых уровней [4].

Обобщенная схема аппроксимирующей сети (рис. 2) представляет собой пятислойную нейронную сеть с нечетким выводом. Архитектура нейронной нечеткой сети изоморфна, т.е. "одинаково устроена", базе нечетких знаний. В ней не применяются обратные связи, но используются обычные сигналы, веса и функции активации. При этом входные и выходные значения, а также веса гибридной сети представляют собой вещественные числа из отрезка (0, 1). В сети для определения функции принадлежности используется некоторая выборка данных, а также применяется нечеткий вывод типа Сугенно.[4]. Сеть реализует продукционные правила следующего вида:

$$IF (x_1=A_1 AND x_2=A_2 AND \dots AND x_N=A_N) THEN y=f(x_1, x_2, \dots, x_N). \quad (1)$$

Здесь $y=f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ – это функция реализации заключений – может быть представлена в виде некоторой линейной зависимости или постоянными коэффициентами.

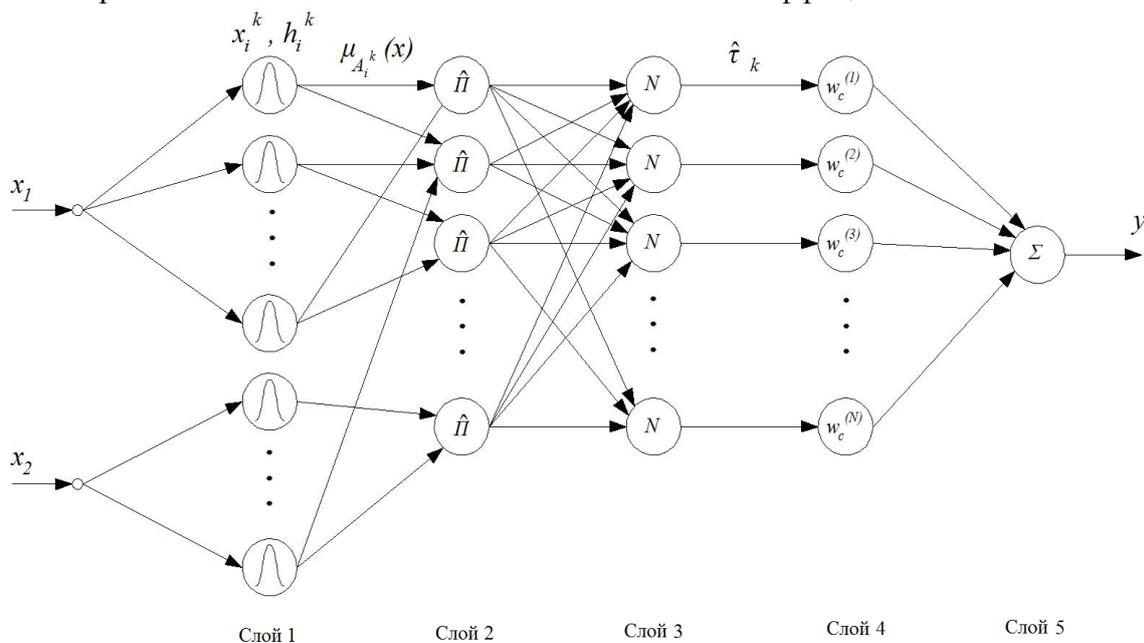


Рис.2 – Обобщенная схема гибридной сети получения коэффициентов регулирования

Каждый слой (уровень) имеет свое функциональное назначение:

Слой 1. На первом уровне происходит расчет степени принадлежности входных данных к соответствующим нечетким множествам. Векторы параметров $x_i^{(k)}$ и $h_i^{(k)}$ задают размещение и форму функций принадлежности. При этом они должны подбираться так, чтобы зависящие от них функции равномерно накрывали входное пространство.

Слой 2. Этот уровень определяет степень соответствия значений входных данных условиям правил. Зависимость между их входами и выходами имеет следующий вид:

$$\tau_k = \prod_{i=1, \dots, N} \mu_{A_i^k}(x_i) \quad (2)$$

где $\mu_{A_i^k}(x_i)$ – это степень соответствия конкретных входных данных условиям правил;

Слой 3. Происходит нормализация степеней активности выполнения правил

$$\hat{\tau}_k = \prod_{i=1, \dots, N} \mu_{A_i^k}(x_i)^{def} = \frac{\tau_k}{\sum_{i=1}^N \tau_i} \quad (3)$$

где $\mu_{A_i^{(k)}}(x_i)$ – это степени соответствия входных данных условиям правил, τ_k – степень активности k -го правила, $\hat{\tau}_k$ – нормированное значение τ_k .

Выходные данные второго уровня сети представляют собой нормированные степени активности правил.

Если входное пространство R равномерно разделено N_1 функциями принадлежности для сигнала X_1 и, соответственно, N_2 функциями принадлежности для сигнала X_2 . Другими словами, определим N_1 нечетких множеств для первого входного сигнала и N_2 для второго. Тогда получим $N_1 \times N_2$ условий нечетких правил следующего вида:

$$\mathbf{IF} (X_1 \in A_1^{N_1} \mathbf{AND} X_2 \in A_2^{N_2}) \mathbf{THEN} y=f(x_1, x_2, \dots, x_N). \quad (4)$$

Слой 4. На этом уровне осуществляется активация заключения правил. Реализуется выражение

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^N \hat{\tau}_k \cdot w_c^{(k)} \quad (5)$$

Данные на выходе этого уровня представляют собой набор весов $w_c^{(k)}$ нормированных степеней активности правил $\hat{\tau}_k$.

Слой 5. На заключительном этапе происходит сложение произведений весов $w_c^{(k)}$ нормированных степеней активности правил $\hat{\tau}_k$. То есть, суммируются вклады всех правил.

После проведения обучения сети, полученные значения коэффициентов оформляются в виде базы правил.

Список литературы

1. Хазиев М.Л., Хазиев Э.Л. Интеллектуальная система диагностики состояния гидравлического привода автомата отрезки труб и обточка фасок // "Современные наукоемкие технологии" 2018 – №7, стр. 131-135; <http://www.top-technologies.ru/article/view?id=37092>
2. Зубков Е.В. Алгоритмизация технологических процессов автоматизированных испытаний дизельных двигателей / Е.В. Зубков, С.В. Дмитриев, А.Х. Хайруллин. – Казань: Казан. ун-т, 2011. – 182 с.
3. Патент на изобретение № 2619746 Российская Федерация, С1 МПК G05F 1/00, G05B 11/01, G05B 11/36, G05B 13/02. Способ расширения диапазона регулирования АСР без потери устойчивости/ Е.В. Зубков, М.Л. Хазиев. -№ 2016111021/11; заявл. 24.03.2016; опубл. 17.05.2017, Бюл. №14.
4. Царегородцева Е.Д. Нейрогенетические алгоритмы построения модели нелинейного динамического объекта и настройки параметров ПИД-регулятора : кандидатская дисс. по спец.: 05.13.18 [Место защиты: Казан. нац. исслед. технол. ун-т]. - Казань, 2012.

**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

**НАХОЖДЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО НАИЛУЧШЕГО МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ФУНКЦИЙ КЛАССА $H_{1,\rho}(\zeta)$**

В статье решена задача оптимального восстановления производных от функций класса $H_{1,\rho}(\zeta)$ (функции рассматриваются с некоторым весом), определенных в круге по значениям функций в заданных точках. Работа состоит из трех частей. В первой напомним некоторые необходимые для статьи понятия и результаты. Во второй части выписываются экстремальные функции, при помощи которых находится погрешность наилучшего метода приближения. Устанавливается, что при некотором условии экстремальная функция не единственна, а при другом экстремальная функция единственна с точностью до множителя $e^{i\delta}$ (δ – любое действительное число). В третьей части доказывается, что линейный наилучший метод восстановления единственен и в конце работы вычисляются его коэффициенты.

Ключевые слова: *оптимальное восстановление, наилучший метод приближения, линейный наилучший метод, коэффициенты линейного наилучшего метода, погрешность наилучшего метода.*

1. Введение.

Обозначим через $K = \{z: |z| < 1\}$ – единичный круг, а через $L = \{|z| = 1\}$ – единичную окружность. Пусть теперь $\rho(t)$ – измеримая функция на Γ , удовлетворяющая условиям

$$0 < m \leq \rho(t) \leq M < +\infty, t \in L \quad (1)$$

(m, M – некоторые заданные числа).

Обозначим через $H_{1,\rho(t)}^1$ подмножество, принадлежащих пространству Харди H_1 (определение пространств Харди см. [1]), состоящее из функций, граничные значения которых удовлетворяют условию: $\int_L \frac{|f(t)|}{\rho(t)} d\varphi \leq 1$, где $t = e^{i\varphi}$, $0 \leq \varphi < 2\pi$, $t \in L$. Предположим, что ξ_0, z_1, \dots, z_n – различные точки, лежащие в круге K . Функция $W_0(t_1, \dots, t_n)$ называется наилучшим методом восстановления (или приближения) значений $f'(\xi_0)$ по значениям функций $f(z_1), \dots, f(z_n)$, если

$$\begin{aligned} & \sup_{f \in H_{1,\rho(t)}^1} |f'(\xi_0) - W_0(f(z_1), \dots, f(z_n))| \\ &= \inf_W \sup_{f \in H_{1,\rho(t)}^1} |f'(\xi_0) - W(f(z_1), \dots, f(z_n))| = r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n), \end{aligned} \quad (2)$$

где $W(t_1, \dots, t_n)$ – любая комплексная функция многих комплексных переменных ($r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n)$ – погрешность наилучшего метода приближения).

Как известно (см. [2]) существует линейный метод $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$, который является одним из наилучших методов восстановления. Кроме того доказано, что погрешность наилучшего метода восстановления можно найти по формуле (см. (2))

$$r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n) = \sup_{\substack{f(z_1)=\dots=f(z_n)=0 \\ f \in H_{1,\rho(t)}^1}} |f'(\xi_0)| \quad (3)$$

Заметим, что во многих работах (см. [2]-[7]) рассматривались и решались проблемы оптимального восстановления различных классов функций. Напомним некоторые результаты из теории экстремальных задач (см. [8]). Пусть $v(t), \rho(t)$ – непрерывные функции ($\rho(t) > 0; t \in L$). Тогда

$$\sup_{f \in H_{1,\rho(t)}^1} \left| \int_L f(t)v(t)dt \right| = \min_{q \in H_\infty} \text{vraisup}[\rho(t)|v(t) - q(t)|], \quad (4)$$

где H_∞ – множество всех аналитических, ограниченных в K функций. Существует экстремальная функция $f^*(t)$ в левой части и экстремальная функция $q^*(t)$ в правой части в соотношении (4) (экстремальная функция $q^*(t)$ в правой части равенства (4) существует при любых измеримых функциях $\rho(t)$, которые удовлетворяют условию (1)). При этом, экстремальная функция $f^*(t)$ удовлетворяет условию

$$\int_L \frac{|f^*(t)|}{\rho(t)} d\varphi = 1. \quad (5)$$

Функции $f^*(t)$ и $q^*(t)$ являются экстремальными в равенстве (4) только в том случае, когда $f^*(t)$ удовлетворяет равенству (5) ($f^*(z) \in H_1, q^*(t) \in H_\infty$) и выполняется равенство

$$f^*(t)[v(t) - q^*(t)]dt = e^{i\varepsilon} \mu \frac{|f^*(t)|}{\rho(t)} d\varphi \quad (6)$$

(ε – действительное постоянное число, μ – общая величина обоих экстремумов в (4)). Напомним также (см. [8]), если $v(z)$ – мероморфная в \bar{K} функция с полюсами u_1, \dots, u_m , лежащими внутри K (каждый полюс учитывается вместе с его кратностью), $v(t)$ – значения функции $v(z)$ на границе ($t \in L$), то функция

$$R(z) = f^*(z)[v(z) - q^*(z)] \quad (7)$$

является аналитической (кроме полюсов) вплоть до границы L . Дополнительно было установлено, что $R(z)$ имеет в \bar{K} ровно

$$T = m - 1 \quad (8)$$

нулей $\alpha_1, \dots, \alpha_{m-1}$ (тоже учитываются их кратность); причем, $|\alpha_k| \leq 1$, где $k = 1, \dots, m - 1$. Кроме того, в работе [8] доказано (см. (7))

$$R(z) = C \frac{\prod_{j=1}^{m-1} (z - \alpha_j)(1 - \bar{\alpha}_j z)}{\prod_{j=1}^m (z - u_j)(1 - \bar{u}_j z)}, \quad (9)$$

где C – некоторая константа,

$$f^*(z) = C_1 \exp \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln \rho(e^{i\varphi}) \frac{e^{i\varphi} + z}{e^{i\varphi} - z} d\varphi \right] \cdot \prod_{j=1}^k \frac{z - \alpha_j}{1 - \bar{\alpha}_j z} \prod_{j=1}^{m-1} (1 - \bar{\alpha}_j z)^2 \prod_{j=1}^m (1 - \bar{u}_j z)^{-2}; \quad (10)$$

причем, $|\alpha_j| < 1, j = 1, \dots, k$ (постоянное число C_1 подбирается таким образом, чтобы функция $f^*(z)$ удовлетворяла условию (5)).

2. Нахождение экстремальной функции в задаче о вычислении погрешности наилучшего метода приближения

Обозначим через

$$B(z) = \prod_{k=1}^n \frac{z - z_k}{1 - \bar{z}_k z} - \quad (11)$$

конечное произведение Бляшке,

$$Q(z) = \exp \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln \rho(e^{i\theta}) \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\theta \right], \quad (12)$$

$$F(z) = B(z)Q(z),$$

$$d(\xi_0) = \frac{1 - |\xi_0|^2}{2} F'(\xi_0) + \bar{\xi}_0 F(\xi_0). \tag{13}$$

Если $t \in L$, то

$$|Q(t)| = \rho(t). \tag{14}$$

Лемма 1. Если функция $v(t)$ является граничным значением на L мероморфной в \bar{K} функции $v(z)$ с конечным число полюсов, лежащих внутри круга K , $f^*(z)$ – экстремальная функция в левой части равенства (4) и z_0 – ее нуль ($z_0 \in K$), то функция

$$f_1^*(z) = C_2 f^*(z) \frac{(z-c)(1-\bar{c}z)}{(z-z_0)(1-\bar{z}_0z)} \tag{15}$$

также является экстремальной функцией в левой части равенства (4); c – фиксированное число ($|c| \leq 1$); C_2 – постоянная константа (C_2 – подбирается таким образом, чтобы для функции $f_1^*(z)$ выполнялось условие (5)). Если z_0 – нуль второго порядка функции $f^*(z)$ и $|z_0| = 1$, то функция $f_1^*(z)$ также будет являться экстремальной функцией.

Доказательство. Легко проверить

$$\frac{(t-c)(1-\bar{c}t)}{(t-z_0)(1-\bar{z}_0t)} \geq 0, \tag{16}$$

для всех $|c| \leq 1, |z_0| \leq 1$ и всех $t \in L$. Из формулы (6) следует

$$|v(t) - q^*(t)| = \frac{\mu}{\rho(t)}, \tag{17}$$

при любых $t \in L$. Так как

$$Arg f^*(t) + Arg(v(t) - q^*(t)) + Arg \frac{dt}{d\varphi} = \varepsilon + 2\pi k \quad (t \in L, k \in Z),$$

то, понятно (см. (6), (15), (16))

$$Arg f_1^*(t) = Arg f^*(t) + Arg(v(t) - q^*(t)) + Arg \frac{dt}{d\varphi} = \varepsilon + 2\pi k.$$

Кроме того (см. (17))

$$|f_1^*(t)[v(t) - q^*(t)]| = \mu \frac{|f_1^*(t)|}{\rho(t)}$$

почти везде на границе L . Следовательно, функция $f_1^*(z)$ удовлетворяет равенству

$$f_1^*(t)[v(t) - q^*(t)]dt = e^{i\varepsilon} \mu \frac{|f_1^*(t)|}{\rho(t)} d\varphi$$

почти везде на границе L (ε – постоянное действительное число). Откуда и вытекает, что $f_1^*(z)$ также является экстремальной функцией в левой части равенства (4). Аналогично доказывается и в случае, когда z_0 является нулем второго порядка. В дальнейшем через $f^*(z)$ обозначаем экстремальную функцию задачи (3).

Лемма 2. Любая из экстремальных функций задачи (3) является экстремальной функцией задачи

$$\sup_{f \in H_{1,\rho(t)}^1} \left| f'(\xi_0) - \sum_{k=1}^n c_k f(z_k) \right| = r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n), \tag{18}$$

где $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод. Экстремальная функция $f^*(z)$ имеет либо n нулей, совпадающими с точками z_1, \dots, z_n , либо $n+1$ z_1, \dots, z_n, a , где $|a| \leq 1$ (a – «дополнительный» нуль функции $f^*(z)$).

Доказательство. Так как $|f^{*'}(\xi_0)| = r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n)$, то понятно, что функция $f^*(z)$ является экстремальной функцией задачи (18) (см. (3)). Перепишем равенство (18) в следующем виде

$$\sup_{f \in H_{1,\rho(t)}^1} \left| \int_L v(t) f(t) dt \right| = r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n), \tag{19}$$

где

$$v(t) = \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(t - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{t - z_k} \right). \quad (20)$$

Рассмотрим функцию $R(z) = f^*(z)(v(z) - q^*(z))$ (см. (7)), где $q^*(z)$ – экстремальная в правой части (4) функция. Функция $R(z)$ (см. (19), (20), (8)) имеет нуль a ($|a| \leq 1$). Этот нуль a является нулем либо функции $f^*(z)$, либо $v(z) - q^*(z)$. Следовательно, функция $f^*(z)$ обладает или n нулями, или $n+1$ (т.е. z_1, \dots, z_n, a).

Теорема 1. Пусть $\rho(t)$ – непрерывная функция ($\rho(t) > 0, t \in L$). Если $d(\xi_0) \neq 0$, то функция $f^*(z)$ единственна (с точностью до множителя $e^{i\gamma}$, $\gamma \in R$) и вида

$$f^*(z) = C_3 Q(z) B(z) \frac{(1 - \bar{a}z)^2}{(1 - \bar{\xi}_0 z)^4}, \quad (21)$$

где C_3 – некоторая константа, при которой выполняется равенство (5) (при этом учитывается равенство (14)); нуль «а» функции $v(z) - q^*(z)$ можно найти при помощи следующих формул:

$$|b| = \frac{\sqrt{|d(\xi_0)|^2 + |F(\xi_0)|^2} - |d(\xi_0)|}{|F(\xi_0)|}, \quad (22)$$

$$\bar{b} = \frac{1 - |b|^2}{2} \frac{Q(\xi_0) B(\xi_0)}{d(\xi_0)}, \quad (23)$$

$$a = \frac{\xi_0 - \bar{b}}{1 - \bar{\xi}_0 \bar{b}}. \quad (24)$$

Если же $d(\xi_0) = 0$, то экстремальных функций $f^*(z)$ бесконечное множество. Любая из них в этом случае обладает $n+1$ нулями z_1, \dots, z_n, a ; (a – любое комплексное число, удовлетворяющее условию $|a| \leq 1$) и имеет вид

$$f^*(z) = C_4 F(z) \frac{(z - a)(1 - \bar{a}z)}{(1 - \bar{\xi}_0 z)^4}, \quad (25)$$

где C_4 – некоторое постоянное число ($|C_4|$ можно найти из условия (5) и учитывая соотношение (14)).

Доказательство.

I. Пусть экстремальная функция $f^*(z)$ обладает $n + 1$ нулями, лежащими в замкнутом круге \bar{K} ; т.е. z_1, \dots, z_n, a ($|a| \leq 1$). Тогда функция $f^*(z)$ имеет вид (см. (10))

$$f^*(z) = C_5 F(z) (z - a)(1 - \bar{a}z)(1 - \bar{\xi}z)^{-4},$$

где C_5 – постоянное число. Отсюда (см. (9))

$$C_5 F(z) \frac{(z - a)(1 - \bar{a}z)}{(1 - \bar{\xi}_0 z)^4} \left[\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i q^*(z) \right] = C \frac{(z - a)(1 - \bar{a}z)}{(z - \xi_0)^2 (1 - \bar{\xi}_0 z)^2}.$$

Значит

$$\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i q^*(z) = C_6 \frac{(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{(z - \xi_0)^2 F(z)}. \quad (26)$$

(здесь $C_6 = C/C_1$). Обозначим

$$P(z) = \frac{(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{(z - \xi_0)^2 F(z)}.$$

Из равенства (26) вытекает

$$\operatorname{res}_{z=\xi_0} P(z) = 0.$$

С другой стороны

$$\operatorname{res}_{z=\xi_0} P(z) = \lim_{z \rightarrow \xi_0} \left(\frac{(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{F(z)} \right)' = \frac{-2\bar{\xi}_0(1 - |\xi_0|^2)F(\xi_0) - (1 - |\xi_0|^2)^2 F'(\xi_0)}{F^2(\xi_0)}.$$

Откуда вытекает (см. (13))

$$d(\xi_0) = 0.$$

II. Пусть экстремальная функция $f^*(z)$ имеет ровно n нулей, совпадающими с точками z_1, \dots, z_n и нуль «а» функции $R(z)$ лежит внутри круга K ; т.е. $|a| < 1$ (ясно, нуль a является нулем функции $v(z) - q^*(z)$). Тогда $f^*(z)$ имеет вид (см. (10))

$$f^*(z) = C_7 F(z) (1 - \bar{a}z)^2 (1 - \bar{\xi}_0 z)^{-4},$$

где C_7 – некоторое число. Отсюда вытекает (см. (7), (9))

$$C_7 F(z) (1 - \bar{a}z)^2 (1 - \bar{\xi}_0 z)^{-4} \left[\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i q^*(z) \right] = C \frac{(z - a)(1 - \bar{a}z)}{(z - \xi_0)^2 (1 - \bar{\xi}_0 z)^2}.$$

Поэтому

$$\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i q^*(z) = C_8 \frac{(z - a)(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{(z - \xi_0)^2 (1 - \bar{a}z) F(z)}, \tag{27}$$

где C_8 – константа ($C_8 = C/C_7$). Обозначим

$$G(z) = \frac{(z - a)(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{(z - \xi_0)^2 (1 - \bar{a}z) F(z)}. \tag{28}$$

Понятно (см. левую часть равенства (27))

$$\text{res}_{z=\xi_0} G(z) = 0. \tag{29}$$

С другой стороны (см. (28))

$$\begin{aligned} \text{res}_{z=\xi_0} G(z) &= \lim_{z \rightarrow \xi_0} \left(\frac{(z - a)(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{(1 - \bar{a}z) F(z)} \right), \\ &= \frac{(1 - |a|^2) (1 - |\xi_0|^2)^2}{(1 - \bar{a}\xi_0)^2 F(\xi_0)} + \frac{(\xi_0 - a) - 2\bar{\xi}_0(1 - |\xi_0|^2)F(\xi_0) - (1 - |\xi_0|^2)^2 F'(\xi_0)}{1 - \bar{a}\xi_0 F^2(\xi_0)}. \end{aligned}$$

Из равенства (29) вытекает $\xi_0 \neq a$ и выполняется следующее уравнение

$$\frac{(1 - |a|^2)}{(\xi_0 - a)(1 - \bar{a}\xi_0)} = 2 \frac{d(\xi_0)}{(1 - |\xi_0|^2) F(\xi_0)}.$$

Так как $|a| < 1$, то $d(\xi_0) \neq 0$. Введем новую переменную

$$a = \frac{\xi_0 - \bar{b}}{1 - \bar{\xi}_0 \bar{b}},$$

где $|b| < 1$. Нетрудно убедиться в том, что выполняются следующие равенства

$$\begin{aligned} (\xi_0 - a)(1 - \bar{a}\xi_0) &= \frac{\bar{b}(1 - |\xi_0|^2)^2}{|1 - \bar{\xi}_0 b|^2}, \\ 1 - |a|^2 &= \frac{(1 - |\xi_0|^2)(1 - |b|^2)}{|1 - \bar{\xi}_0 b|^2}. \end{aligned}$$

Отсюда вытекает

$$\frac{1 - |b|^2}{\bar{b}} = 2 \frac{d(\xi_0)}{F(\xi_0)}. \tag{30}$$

Отдельно найдем $|b|$. Из равенства (30) следует

$$\frac{1 - |b|^2}{|b|} = 2 \frac{|d(\xi_0)|}{|F(\xi_0)|}.$$

Решая последнее уравнение, получаем выполнение формулы (22) (нетрудно убедиться в том, что $|b| < 1$).

Справедливость формул (23), (24) вытекает из формулы (30).

III. Если число «а» является нулем функции $R(z)$ и $|a| = 1$, то нуль a (см.(6)) является нулем функции $f^*(z)$ (кратности два), а этот случай мы рассмотрели в пункте I.

Понятно, если $d(\xi_0) \neq 0$, то функция $f^*(z)$ имеет n нулей и вида (21). Если же $d(\xi_0) = 0$, то любая из экстремальных функций $f^*(z)$ задачи (3) имеет $n+1$ нулей z_1, \dots, z_n, a , где a – любое комплексное число, удовлетворяющее условию $|a| \leq 1$ и $f^*(z)$ вида (25).

3. Нахождение линейного наилучшего метода восстановления

Теорема 2. Пусть $\rho(t)$ – непрерывная функция ($\rho(t) > 0, t \in L$). Тогда, метод $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$, где c_k – коэффициенты линейного наилучшего метода приближения единственен. Причем, если $d(\xi_0) = 0$, то коэффициенты c_k линейного наилучшего метода приближения находятся по формулам

$$c_k = \frac{F(\xi_0)}{(1 - |\xi_0|^2)^2} \frac{(1 - \bar{\xi}_0 z_k)^2 (|z_k|^2 - 1)}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \frac{z_k - z_j}{1 - \bar{z}_j z_k} Q(z_k) (z_k - \xi_0)^2}, \quad (31)$$

где $k = 1, \dots, n$. Если $d(\xi_0) \neq 0$, то

$$c_k = \frac{(1 - \bar{a}\xi_0)F(\xi_0) (z_k - a)(1 - \bar{\xi}_0 z_k)^2 (|z_k|^2 - 1)}{(\xi_0 - a)(1 - |\xi_0|^2)^2 (z_k - \xi_0)^2 (1 - \bar{a}z_k) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \frac{z_k - z_j}{1 - \bar{z}_j z_k}}, \quad (32)$$

где параметр «а» вычисляется по формулам (22) – (24); $k = 1, \dots, n$.

Доказательство. Если $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод и $f^*(z)$ – любая из экстремальных функций задачи (3), то выполняется следующее соотношение (см. (6))

$$f^*(t) \left[\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(t - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{t - z_k} \right) - q^*(t) \right] dt = \mu e^{i\delta} \frac{|f^*(t)|}{\rho(t)} d\varphi, \quad (33)$$

где $\mu = r_1(\xi_0, z_1, \dots, z_n)$, $\delta \in R$, $q^*(t)$ – экстремальная функция в правой части равенства (4). Пусть $\sum_{k=1}^n \tilde{c}_k f(z_k)$ также является линейным наилучшим методом. Откуда

$$f^*(t) \left[\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(t - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{\tilde{c}_k}{t - z_k} \right) - q_1^*(t) \right] dt = \mu e^{i\delta_1} \frac{|f^*(t)|}{\rho(t)} d\varphi, \quad (34)$$

где $q_1^*(t)$ – экстремальная функция в равенстве (4)

$$\omega_1(t) = \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(t - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{\tilde{c}_k}{t - z_k} \right),$$

δ_1 – постоянное число ($\delta_1 \in R$). Поделим левые и правые части равенства (33) на соответствующие левые и правые части равенства (34). Получим

$$\frac{\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(t - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{t - z_k} \right) - q^*(t)}{\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(t - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{\tilde{c}_k}{t - z_k} \right) - q_1^*(t)} = e^{i\alpha},$$

где $\alpha = \delta - \delta_1$, $t \in L$. Следовательно

$$\frac{\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} \right) - q^*(z)}{\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{\tilde{c}_k}{z - z_k} \right) - q_1^*(z)} = e^{i\alpha}$$

при всех $z \in \bar{K}$.

Умножим числитель и знаменатель последнего равенства в левой части на $(z - \xi_0)^2$ и рассмотрим предел при $z \rightarrow \xi_0$. Получим $e^{i\alpha} = 1$. Откуда

$$\frac{\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} \right) - q^*(z)}{\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{\tilde{c}_k}{z - z_k} \right) - q_1^*(z)} = 1,$$

при всех $z \in \bar{K}$. Отсюда и следует $\tilde{c}_k = c_k$, $k = 1, \dots, n$. То есть, линейный наилучший метод приближения единственен.

После этого умножим левую и правую часть равенства (26) на $(z - \xi_0)^2$ и возьмем предел (в левой и правой частях) при $z \rightarrow \xi_0$. Получим

$$C_6 = \frac{F(\xi_0)}{(1 - |\xi_0|^2)^2}.$$

Поэтому (см. (26), (12))

$$\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i q^*(z) = \frac{F(\xi_0)}{(1 - |\xi_0|^2)^2} \frac{(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{Q(z)B(z)}.$$

Отсюда, вычисляя вычеты в точках z_1, \dots, z_n в левой и в правой частях последнего равенства, получаем формулу (31) (см. (11)). Затем рассмотрим равенство (27). Умножив это равенство на $(z - \xi_0)^2$ и снова взяв пределы в левой и правой частях при $z \rightarrow \xi_0$, получим

$$C_8 = \frac{(1 - \bar{a}\xi_0)F(\xi_0)}{(\xi_0 - a)(1 - |\xi_0|^2)^2}.$$

Откуда (см. (27))

$$\frac{1}{(z - \xi_0)^2} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z - z_k} - 2\pi i q^*(z) = \frac{(1 - \bar{a}\xi_0)F(\xi_0)}{(\xi_0 - a)(1 - |\xi_0|^2)^2} \frac{(z - a)(1 - \bar{\xi}_0 z)^2}{(z - \xi_0)^2(1 - \bar{a}z)Q(z)B(z)}.$$

Вычисляя вычеты в левой и в правой частях последнего равенства, получаем (см. (11)) формулы (32).

Список литературы

1. Голузин Г.М. Геометрическая теория функций комплексного переменного. Издательство «НАУКА». Главная редакция физико-математической литературы. Москва 1966.
2. Osipenko K.Yu. Best approximation of analytic function from information about their values at a finite number of point.//Math. Notes, 19:1, 17-23.
3. Osipenko K.Yu., Stesin M.I. Recovery problems in Hardy and Bergman Spaces. Math. Notes, 49:4 (1991), 395-401.
4. Магарил-Ильяев Г.Г. Оптимальная интерполяция и принцип Лагранжа. Владикавк. Матем. журн., 6:4 (2004), 42-47.
5. Осипенко К.Ю. «Оптимальное восстановление производных ограниченных аналитических и гармонических функций по неточным данным». Матем. заметки, 53:5 (1993).
6. Осипенко К.Ю. «Задача Каратеодори-Фейера и оптимальное восстановление производных в пространствах Харди». Матем. сб., 185:1 (1994), 27-42.
7. Акоруан R.R. Optimal recovery of functions analytical in a half-plane. Proc. Steklov Inst. Math., 259:2 (2007), 1-11.
8. Хавинсон С.Я. О представлении экстремальных функций в классах E_q через функции Грина и Неймана.// Матем. заметки, 1974, т. 16, № 5, с. 707-716.

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

05.13.11

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, А.С. БоронниковМИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ**

В работе рассматривается методика создания библиотечных компонентов для задачи защищенного проектирования цифровых устройств на основе современной элементной базы. Предложен способ выбора программных средств для решения задачи проектирования с учетом требований технического задания. Приводится конкретный пример проектирования в САПР Cadence Allegro. Показаны возможные области применения полученных в работе результатов.

Ключевые слова: библиотечные компоненты, программные средства проектирования цифровых устройств, защищенное проектирование.

В работе выполнено исследование одного из этапов проектирования цифровых устройств с целью дальнейшего использования полученных результатов для создания технологии защищенного проектирования, создание которой актуально на современном этапе развития всей отрасли по производству вычислительной техники [1,2].

Для того чтобы спроектировать принципиальную схему устройства, необходимо в первую очередь создать все необходимые библиотечные элементы, выбранные для проекта. Отдельной задачей является выбор наиболее подходящего стандартного программного средства, который осуществляется с помощью существующих методов, включая метод ранжирования альтернатив, лексикографический метод, метод анализа иерархий. В качестве критериев сравнения были выбраны удобство проектирования, требования к вычислительным ресурсам, функциональность, трассировка электрических цепей, наличие библиотечных элементов, стоимость, поддержка программного обеспечения, кроссплатформенность. На рис.1 представлены рассчитанные программой результаты по определению приоритетов критериев.

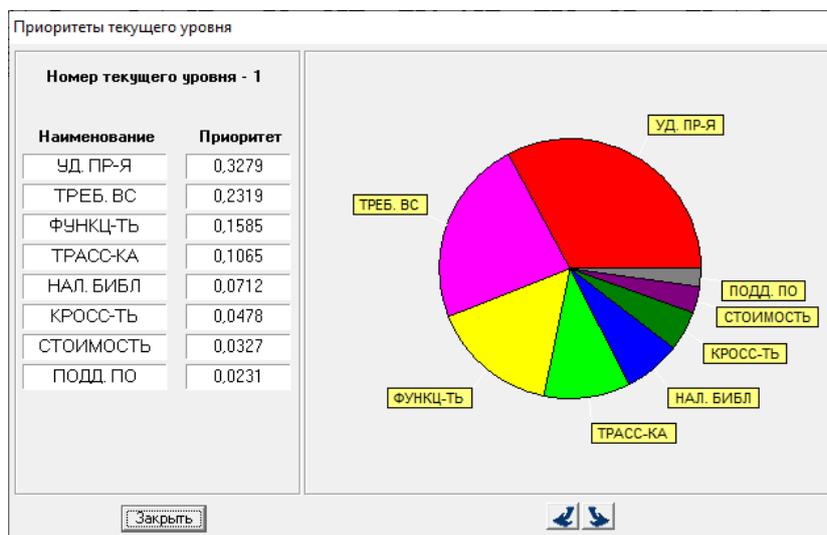


Рис.1. - Приоритеты критериев

На рис.2 показана матрица попарного сравнения альтернатив относительно критерия наличия библиотечных компонентов.

Работа эксперта

Производим попарные сравнения относительно объекта
НАЛ. БИБЛ

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	Приоритет
1.	ALLEGRO	1	1/3	1/5	1/3	1/5	1	0,0532
2.	P-CAD	3	1	5	1	5	3	0,324
3.	MENT. GR.	5	1/5	1	1/5	1	1/3	0,0836
4.	ALTIUM D.	3	1	5	1	5	3	0,324
5.	EL. VLSI	5	1/5	1	1/5	1	1/3	0,0836
6.	ORCAD	1	1/3	3	1/3	3	1	0,1313

СЗ: 7,0193 Применить
 ИС: 0,2038 Закреть
 ОС: 0,1644 Отмена

Исследовать

Рис.2. - Попарное сравнение альтернатив

Разработка библиотеки компонентов ведется в несколько этапов:

- разработка условных графических изображений компонентов;
- разработка посадочных мест компонентов;
- упаковка компонентов библиотеки.

Рассмотрим процесс проектирования на примере импульсного понижающего преобразователя напряжения. Создание условного графического изображения выполняется в инструменте Part Developer, который входит в модуль PE Librarian САПР Cadence Allegro [3].

После того, как откроется окно разработчика, на верхней панели появится инструмент создания нового элемента (*New Cell*). Предлагается выбрать библиотеку, в которой будет храниться создаваемый элемент и задать имя элемента латинскими буквами (в нашем случае *bra_tps54a20*). В левой части открывшегося окна представлена иерархия разрабатываемого библиотечного элемента (рис.3).

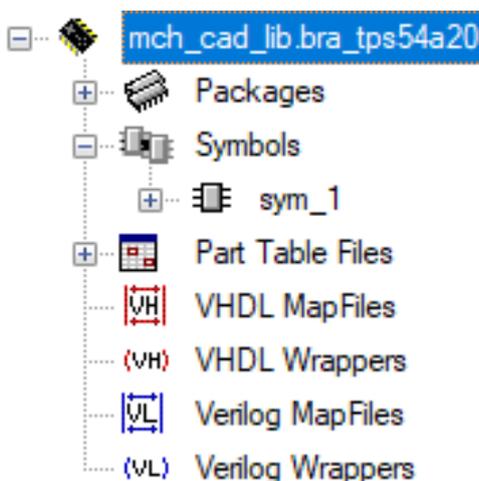


Рис.3. - Иерархия библиотечного элемента

Следующим шагом является добавление контактов на имеющуюся заготовку. Основные типы контактов: входной (input/I); выходной (output/O); вход/выход (inout/IO/bidir); неиспользуемый контакт (NC); питание (power/supply/S); земля (ground). После выполненных шагов в основном поле отобразятся все контакты микросхемы (рис.4).

	Name	Text	PinType	Sized	Location	Position	PIN_DELAY
1	VIN	VIN	INPUT	<input type="checkbox"/>	Left	24	
2	PGOOD	PGOOD	OUTPUT	<input type="checkbox"/>	Left	20	
3	SYNC	SYNC	INPUT	<input type="checkbox"/>	Left	16	
4	SS/FSSEL	SS/FSSEL	INPUT	<input type="checkbox"/>	Left	12	
5	EN	EN	INPUT	<input type="checkbox"/>	Left	8	
6	ILIM	ILIM	INPUT	<input type="checkbox"/>	Left	4	
7	TON	TON	INPUT	<input type="checkbox"/>	Left	0	
8	VGA	VGA	GROUND	<input type="checkbox"/>	Left	-8	
9	VG+	VG+	POWER	<input type="checkbox"/>	Left	-12	
10	VG-	VG-	POWER	<input type="checkbox"/>	Left	-16	
11	AGND	AGND	POWER	<input type="checkbox"/>	Left	-20	
12	PGND	PGND	POWER	<input type="checkbox"/>	Left	-24	
13	BOOTA	BOOTA	POWER	<input type="checkbox"/>	Right	24	
14	SCAP1	SCAP1	OUTPUT	<input type="checkbox"/>	Right	20	
15	SCAP2	SCAP2	OUTPUT	<input type="checkbox"/>	Right	16	
16	SWA	SWA	OUTPUT	<input type="checkbox"/>	Right	12	
17	BOOTB	BOOTB	POWER	<input type="checkbox"/>	Right	8	
18	SWB	SWB	OUTPUT	<input type="checkbox"/>	Right	4	
19	FB	FB	INPUT	<input type="checkbox"/>	Right	0	

Рис.4. - Список контактов микросхемы

После создания контактных площадок выполняется разработка посадочного места. Сначала необходимо добавить все, созданные ранее контактные площадки. Во вкладке «Option» в окне с параметром «Pin #» указывается префикс и номер контакта; в окне инкремента чуть правее задается единица. При наличии в микросхеме одинаковых контактных площадок можно размещать их сразу по несколько штук на рабочем поле. Для этого нужно указать выше, как располагаются площадки. Если по оси X, то устанавливаем напротив «X» в столбце «Qty» количество площадок; если по оси Y – соответственно напротив «Y». Интервал между площадками задается в окне «Spacing». В столбце «Order» – направление по увеличению номера площадки: справа налево – *Left*, слева направо – *Right*, сверху вниз – *Down* и снизу вверх – *Up*. В разделе «Offset X, Y» задается смещение номера площадки относительно самой площадки. Перед размещением контактных площадок нужно определить с помощью чертежа посадочного места из спецификации координаты центров площадок. После этого размещаем на рабочей области редактора площадки строго по вычисленным координатам.

Последним этапом в создании библиотечного компонента в САПР Cadence Allegro является объединение условно-графического обозначения и посадочного места для печатной платы в пакет элемента. Для решения этой задачи используется программа разработчика компонентов Part Developer (рис.5).

	Name	Type	SI	Sized	Input Load		Output Load		Check Load	Check IO	Check Dir
					Low	High	Low	High			
1	VIN	INPUT	3	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
2	PGOOD	OUTPUT	15	<input type="checkbox"/>			1.0	-1.0	Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
3	SYNC	INPUT	14	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
4	SS/FSSEL	INPUT	6	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
5	EN	INPUT	4	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
6	ILIM	INPUT	5	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
7	TON	INPUT	19	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
8	VGA	GROUND	7	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
9	VG+	POWER	16	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
10	VG-	POWER	17	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
11	AGND	POWER	1	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
12	PGND	POWER	2	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
13	BOOTA	POWER	8	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
14	SCAP1	OUTPUT	9	<input type="checkbox"/>			1.0	-1.0	Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
15	SCAP2	OUTPUT	20	<input type="checkbox"/>			1.0	-1.0	Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
16	SWA	OUTPUT	13	<input type="checkbox"/>			1.0	-1.0	Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
17	BOOTB	POWER	10	<input type="checkbox"/>					Off	Off	<input type="checkbox"/>
18	SWB	OUTPUT	12	<input type="checkbox"/>			1.0	-1.0	Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>
19	FB	INPUT	18	<input type="checkbox"/>	-0.01	0.01			Both	Both	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис.5. - Связывание логических и физических контактов микросхемы

Последним шагом в создании библиотеки компонента является заполнение таблицы «Part Table Files» (файлы таблицы компонента). Необходимо создать два столбца: ключевое свойство «PACK_TYPE» (тип корпуса) и второстепенное свойство «JEDEC_TYPE» (полное название посадочного места) (рис.6).

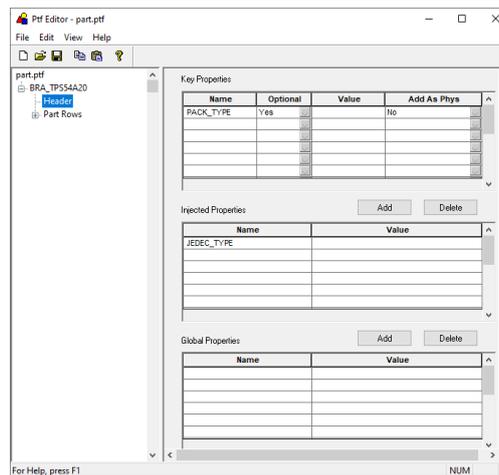


Рис.6. - Создание ключевых столбцов для описания библиотеки

Иерархия проекта библиотечного компонента на конечном этапе разработки имеет следующий вид, представленный на рис.7.

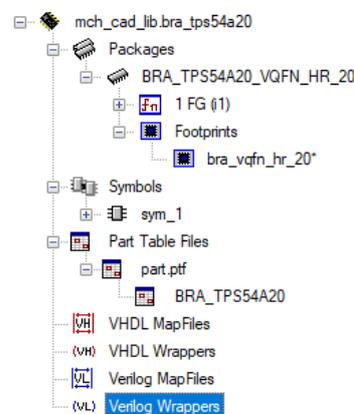


Рис.7. - Иерархия проекта библиотечного компонента на конечном этапе

Предложенные в работе способ выбора программного средства и методика создания библиотечных компонентов для решения задачи защищенного проектирования цифровых устройств позволяют проводить предварительные исследования для выявления незащищенных мест. Рассмотренные процедуры были использованы при разработке модулей бортовых вычислительных систем на основе отечественной элементной базы и позволили выполнить основные требования, предъявляемые к цифровым устройствам данного класса. Исследования проведены на оборудовании ЦКП РТУ МИРЭА.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №FSFZ-0706-2020-0022).

Список литературы

1. Деменкова Т.А., Боронников А.С. Вопросы обеспечения доверенной загрузки в бортовых вычислителях // Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике. Сборник научных трудов. Т.2. -М.: РТУ МИРЭА, 2019. С.195-200.
2. Pevtsov E.Ph., Demenkova T.A., Shnyakin A.A. Design for testability of integrated circuits and project protection difficulties // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7. № 4. С. 60–70.
3. Cadence Allegro. САПР для сложных печатных плат. URL: <https://www.pcbsoft.ru/cadence-allegro> (дата обращения: 02.07.2020)

05.13.11

Ю.Д. Кореньков

Университет ИТМО,
Факультет программной инженерии и компьютерной техники,
Санкт-Петербург, ged.yuko@gmail.com

МЕТОД ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО АНАЛИЗА ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В работе рассматривается семантический анализ текстов программ и программных систем для проверки совместимости между их частями, написанными на различных языках программирования. Предложен язык описания спецификаций семантических моделей программ и их отображений, а также язык описания синтаксических моделей исходных текстов программ для построения абстрактных семантических графов в ходе семантического анализа текстов программ.

Ключевые слова: *семантическая трансляция, предметно-ориентированные языки, инкрементальный анализ.*

1. Введение

Разработка программ и программных систем на сегодняшний день зачастую сопряжена с декомпозицией проекта на несколько частей, таких как отдельные приложения или модули. При этом разные части программного проекта могут быть реализованы как с использованием одного языка программирования, так и различных языков программирования одновременно. В зависимости от применяемых методов организации программных интерфейсов между частями решения в их исходном коде могут выделяться фрагменты, отвечающие за сопряжение частей друг с другом. При этом, с точки зрения разработчика программного проекта, интерес представляет как можно более раннее выявление ошибок сопряжения элементов программной системы между собой.

Выявление и исправление ошибок в программном коде производится в составе двух основных процессов:

- 1) работы с исходным кодом программы;
- 2) сборки программного проекта, компиляции и компоновки всех его частей, их тестировании и верификации.

Исправление ошибок в программном коде, выявленных на любом из этапов жизненного цикла программного проекта, возвращает разработчика к исходному коду, требующему внесения изменений. По этой причине для программиста представляет интерес выявление как можно большего количества ошибок на этапе работы с исходным кодом программы. Такую задачу на сегодняшний день решают средства интегрированных сред разработки (IDE). Однако в силу специфики различных способов сопряжения программных компонент для различных программных проектов в общем случае такая задача может быть решена на уровне среды разработки только для небольшого числа предопределённых авторами IDE сценариев использования (например, частичная проверка корректности XAML-разметки относительно кода на языке C# в IDE Visual Studio).

2. Предметно-ориентированная семантика

Рассмотрим некоторые частные случаи, когда в составе компонент программного проекта возникают так называемые слои сопряжения:

- 1) при разработке веб-приложений пользовательский интерфейс может реализовываться на таких языках, как JavaScript или TypeScript, а служба веб-сервиса при этом может разрабатываться на C# или Java. При этом со стороны пользовательского интерфейса будут каким-то образом формироваться обращения к конечным точкам программного интерфейса службы;

2) при разработке распределённых приложений компоненты могут сопрягаться как с помощью готовых реализаций механизма удаленного вызова процедур на базе общих интерфейсов, так и с помощью специализированных протоколов или обёрток вокруг существующих библиотек, отвечающих за передачу данных и реализующих поведение, подобное удалённому вызову процедур;

3) при использовании баз данных код приложения будет содержать в том или ином виде слой доступа к данным, отвечающий за формирование запросов к базе данных с помощью построения запросов в виде объектных моделей или текстовых команд;

4) программные интерфейсы отдельных библиотек могут обладать особенностями поведения, которые требуют от импортируемого кода определённых паттернов использования;

5) явное использование методов языково-ориентированного программирования или (мета-)моделирования может требовать формирования или обработки структур данных, организованных предопределённым образом, спецификация которого не пересекается с семантикой языка программирования общего назначения.

Во всех этих случаях семантика языков программирования, на которых ведётся разработка проекта, недостаточна для статической проверки корректности программы. При этом сценарии 1-4 могут рассматриваться как применение внутренних предметно-ориентированных языков, а сценарий 5 – как применение внешних предметно-ориентированных языков.

Так как разнородные элементы в составе программной системы призваны решать разные задачи, примем, что контракты программного интерфейса каждого из них формулируемы в терминах предметной области, соответствующей решаемой конкретным элементом задаче. Во всех рассматриваемых случаях программный код того или иного модуля можно разделить на слои в соответствии с выполняемой задачей (если разработчики не игнорировали принципы разработки ПО, такие как декомпозиция и принцип единственности ответственности). Рассмотрим слои, отвечающие за сопряжения со смежными компонентами (модулем, базой данных, службой, библиотекой): их код будет организован не произвольным образом для решения узкой задачи, но соответствовать ограничениям, диктуемым предметной областью соответствующего программного интерфейса. То есть семантика фрагмента текста программы расширяется посредством введения в неё понятий из предметной области смежного компонента.

3. Семантический анализ и предметно-ориентированные языки

На предмет возможности выполнения предметно-ориентированного анализа семантических моделей программ в процессе их редактирования был проанализирован ряд инфраструктур интегрированных сред разработки, наиболее популярных по данным Google Trends, основные из которых перечислены в таблице 1.

Таблица 1 – Популярные IDE

	Название IDE	Сайт проекта
1	Visual Studio	https://visualstudio.microsoft.com/ru/
2	Eclipse	https://www.eclipse.org/
3	Visual Studio Code	https://code.visualstudio.com/
4	IDEA	https://www.jetbrains.com/idea/
5	NetBeans	https://netbeans.org/
6	Xcode	https://developer.apple.com/xcode/

Во всех случаях единственным способом введения в процесс редактирования специфических для отдельного программного проекта проверок над исходным кодом является реализация специализированного расширения среды разработки. Это говорит о невозможности выполнения предметно-ориентированного семантического анализа встроенными средствами для поддерживаемых распространёнными средами разработки языков программирования. Единственным способом, автоматически решающим вопрос совместимости двух частей программного проекта, доступным без дополнительных усилий,

является генерация кода этих частей на основе общей спецификации. Что, по сути, является эквивалентом создания специализированного расширения IDE, но без возможности проверки текстов программ в процессе редактирования, так как для этого нужна интеграция решения с текстовым редактором IDE, а совместное использование семантической информации в существующих средах разработки либо не предусмотрено, либо затруднено.

Другим подходом может являться использование специализированных средств работы с предметно-ориентированными языками, позволяющих выполнять семантический анализ текстов программ, будучи изначально разработанными с возможностью настройки такого анализа.

Был рассмотрен ряд подходов и инструментов, позволяющих выполнять семантический анализ исходных текстов программ своими силами. Следует уточнить, что предметом интереса являются именно способы выполнения анализа семантической информации, полученной на основе текстов программ, а не только синтаксических структур в исходном тексте, что исключает из рассмотрения средства генерации парсеров, требующие самостоятельной реализации логики семантического анализа. Изучение существующих средств показало, что они могут быть разбиты на три группы:

1) не предназначенные для использования в реальном времени в процессе редактирования текста [1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11][12][13];

2) предназначенные для использования в процессе редактирования текста программы внутри своей специализированной среды разработки или специализированного режима редактирования [12][13][14][15];

3) предназначенные для использования в процессе редактирования моделей программ в терминах близких к модели абстрактного синтаксического дерева, не рассматривающие анализ текстов программ [12][16].

Таким образом, ни один из существующих инструментов, предназначенных для выполнения предметно-ориентированного семантического анализа, не может быть встроен в процесс редактирования текста в IDE, уже задействованной в ходе разработки программного проекта, если это не та же самая IDE, в рамках которой он изначально создан. Кроме этого, описание спецификаций, задающих необходимый семантический анализ, во всех случаях требует изучения специализированных предметных областей (языки и среды метамоделирования, синтаксического анализа, онтологического моделирования, и т.п.) [4][17][18][19], что повышает порог вхождения для решения этой задачи.

4. Предлагаемое решение

В результате анализа существующих решений была выявлена потребность в создании средства описания предметно-ориентированных проверок над семантической информацией о частях текстов программ в процессе их редактирования, которое минимизировало бы потребность изучения или использования средств, внешних по отношению к IDE, уже задействованной в разработке отдельного программного проекта.

Проверка условий корректности текста программы в отношении элементов семантики, не входящих состав исходного языка программирования, требует выделения соответствующей семантической информации из программы. При этом исходными данными для такой операции является синтаксическая или семантическая модель текста программы в терминах исходного языка программирования. Так, предметно-ориентированный анализ исходных текстов программ может быть сформулирован как последовательная семантическая трансляция информации о структуре текста программы из предметной области языка программирования в предметную область, в которой условия необходимых ограничений могут быть сформулированы без дополнительных усилий.

При этом система понятий предметной области на каждом из этапов анализа задаёт естественные ограничения для соответствующей части текста программы. При необходимости она также может быть расширена дополнительными условиями.

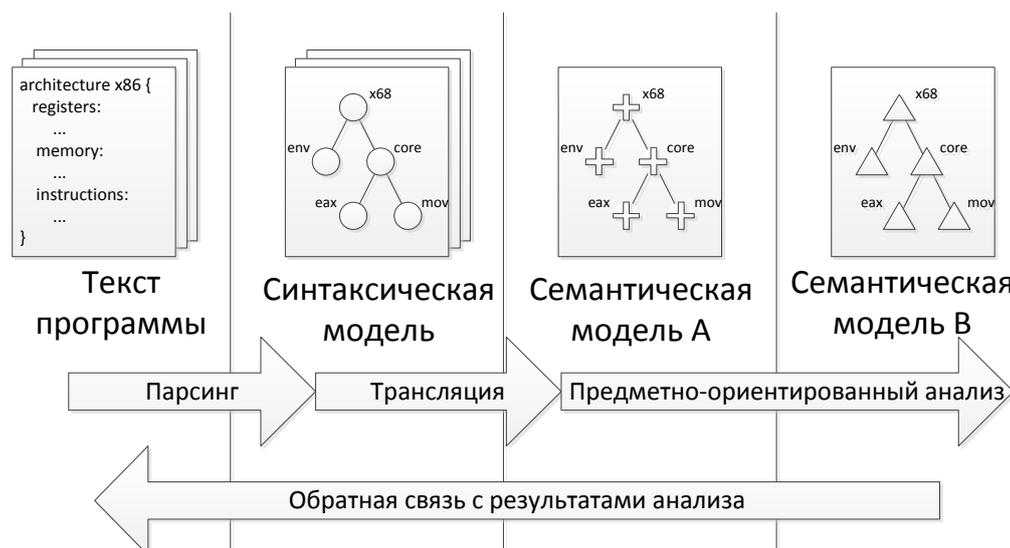


Рис. 1 – Последовательность этапов анализа текста программы

Исключение ошибок при семантической трансляции требует ограничений схемы представления данных на каждом из этапов. Первый шаг анализа при этом требует привести представление синтаксической модели к тому же обобщённому виду, что и семантические модели, трансляция между которыми будет выполняться в дальнейшем. Таким представлением синтаксической информации является абстрактный синтаксический граф (Abstract Syntax Graph – ASG), построение которого также требует однозначной спецификации элементов синтаксиса, которые должны соответствовать узлам графа. Это приводит к разделению описания семантического анализа текста программы на спецификации трёх видов: спецификации семантических моделей для анализа, спецификации семантических трансляций для перехода между разными моделями, и спецификации синтаксической модели для синтаксического анализа и построения первичного ASG, являющегося входными данными для первого этапа трансляций.

Для решения задачи декомпозиции спецификаций предлагается ввести широко распространённый механизм лексических областей в описания синтаксических моделей, на основе которых формируются как грамматики для синтаксического анализа, так и схемы данных ASG. Это делает описание синтаксических моделей более лаконичными, чем в плоской БНФ-подобной форме и фиксирует назначение элементов синтаксиса, значительно упрощая создание спецификаций. Например, в процессе разработки решения была составлена синтаксическая спецификация языка C# версии 4 объёмом 367 строк, средняя длина строки 23 символа. Идентичная БНФ-подобная грамматика 692 строки, средняя длина строки 46 символов.

Для описания самих семантических трансляций предлагается использовать синтаксис на основе языка LINQ, рассматривая при этом элементы семантических моделей как элементы наборов данных, обладающих полями, соответствующими атрибутам семантической модели. Таким образом, описание семантической трансляции между различными семантическими моделями становится подобным реляционному отображению между различными схемами данных. Написание спецификаций в таком виде не требует специализированных знаний, так как использование реляционных отображений при работе с базами данных на сегодняшний день является одной из распространённых практик.

Метод предметно-ориентированного анализа исходных текстов программ на основе семантических моделей посредством семантических трансляций, описанных в виде, подобном реляционным отображениям, позволяет абстрагироваться от логики самого процесса анализа, так как не задаёт последовательности применения трансляций, но описывает зависимости между ними. Это даёт возможность разработки и использования алгоритмов инкрементальной семантической трансляции.

Таблица 2 – Пример определения предметно-ориентированной модели

Модель	Пример фрагмента описания
Синтаксическая	<pre>defSyntax { definition: (ruleSet rule)*; ruleSet: name '{' imports item* '}' { item: rule ruleSet; }; ruleSetImport: attrs alias complexName ';'; rule: name ':' body ';'; }</pre>
Семантическая	<pre>defSemantic { scope: { name: string; rules: rule[]; namespace { namespaces: namespace[]; } rule { expr; } }; }</pre>
Отображение	<pre>defSemantic.scope(s: scope) { parent = s; namespace(rs: ruleSet) from rs in definition.ruleSet { name = rs.complexName; namespaces = from crs in rs.item.ruleSet select new namespace(this, crs); rules = from r in rs.item.rule select rule(this, r); } rule(r: defSyntax.rule) from r in definition.item.rule { name = r.complexName; rules = from cr in r.body.simple.rule select rule(this, cr); expr = syntax.expr(this, r.body.simple.expr); } };</pre>

Инкрементальность анализа позволяет минимизировать затрагиваемый в ходе анализа объём данных, а значит выполнять анализ значительно быстрее, вплоть до анализа в реальном времени в ходе редактирования исходного текста программы.

5. Заключение

В работе рассмотрен вопрос проверки корректности исходного текста программ в части сопряжения элементов программных систем в некоторых сценариях при разработке программных проектов. Предложен метод предметно-ориентированного анализа исходных текстов программ на основе семантических моделей посредством семантических трансляций на основе отображений, подобных реляционным. Предложен синтаксис описания

синтаксических и семантических моделей, трансляций между ними, понижающий порог вхождения для использования данного метода при разработке программных проектов. Приведены примеры описаний на основе предложенного синтаксиса. И сравнительная оценка объёмов грамматики на примере языка C#.

Список литературы

1. Vasudevan N., Tratt L. Comparative study of DSL tools //Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2011. – Т. 264. – №. 5. – С. 103-121.
2. Kurtev I. et al. Model-based DSL frameworks //Companion to the 21st ACM SIGPLAN symposium on Object-oriented programming systems, languages, and applications. – 2006. – С. 602-616.
3. Jouault F., Bézivin J. KM3: a DSL for Metamodel Specification //International Conference on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. – С. 171-185.
4. Tikhonova U. et al. Applying Model Transformation and Event-B for Specifying an Industrial DSL //MoDeV@ MoDELS. – 2013. – С. 41-50.
5. Tikhonova U. Reusable specification templates for defining dynamic semantics of DSLs //Software & Systems Modeling. – 2019. – Т. 18. – №. 1. – С. 691-720.
6. Eakman G. et al. Practical formal verification of domain-specific language applications //NASA Formal Methods Symposium. – Springer, Cham, 2015. – С. 443-449.
7. Breslav A. DSL development based on target meta-models. Using AST transformations for automating semantic analysis in a textual DSL framework //arXiv preprint arXiv:0801.1219. – 2008.
8. Kurtev I. et al. Model-based DSL frameworks //Companion to the 21st ACM SIGPLAN symposium on Object-oriented programming systems, languages, and applications. – 2006. – С. 602-616.
9. Sadilek D. A. Prototyping domain-specific language semantics //Companion to the 23rd ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming systems languages and applications. – 2008. – С. 895-896.
10. Keshishzadeh S., Mooij A. J., Hooman J. Industrial Experiences with a Formal DSL Semantics to Check Correctness of DSL Transformations //arXiv preprint arXiv:1511.08049. – 2015.
11. Combemale B. et al. Essay on semantics definition in MDE. An instrumented approach for model verification. – 2009.
12. Erdweg S. et al. The state of the art in language workbenches //International Conference on Software Language Engineering. – Springer, Cham, 2013. – С. 197-217.
13. van der Storm T. The Rascal language workbench //CWI. Software Engineering [SEN]. – 2011. – Т. 13. – С. 14.
14. Diekmann L., Tratt L. Eco: A language composition editor //International Conference on Software Language Engineering. – Springer, Cham, 2014. – С. 82-101.
15. Vergu V., Néron P., Visser E. DynSem: A DSL for dynamic semantics specification //26th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2015). – Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2015.
16. Szabó T., Erdweg S., Voelter M. Inca: A dsl for the definition of incremental program analyses //Proceedings of the 31st IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. – 2016. – С. 320-331.
17. Ehrig H., Prange U., Taentzer G. Fundamental theory for typed attributed graph transformation //International conference on graph transformation. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. – С. 161-177.
18. Ulitin B., Babkin E., Babkina T. Ontology-based DSL development using graph transformations methods //Journal of Systems Integration. – 2018. – Т. 9. – №. 2. – С. 37-51.
19. Fisher M., Dean M. Automapper: Relational database semantic translation using owl and swrl //Proceedings of the IASK International Conference E-Activity and Leading Technologies, Porto, Portugal. – 2007.

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

05.13.18

¹А.И. Акимов канд. техн. наук, ²И.А. Акимов д-р техн. наук, В.Н. Абузьяров

¹Филиал Российского Государственного университета нефти и газа
имени И.М. Губкина (НГУ) в Оренбурге,
отделение экономики, гуманитарных и естественных наук дисциплины (ЭГ и ЕНД),

²Оренбургский государственный педагогический университет,
кафедра математики и МПМ,
Оренбург, akimov_ia@mail.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ
ПОТОКОВ В СЛОИСТЫХ СРЕДАХ С НЕИДЕАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ КОНТАКТОМ**

В статье приводятся результаты изучения теплопроводности в слоистых средах с неидеальным тепловым контактом между слоями

Ключевые слова: *теплопроводность, слоистые тела, условия сопряжения, тепловой поток, уравнения Вольтерра.*

Рассмотрим задачу нестационарной теплопроводности через n - слойную неограниченную пластину, где теплопроводность слоев λ_i , удельная теплоемкость c_i и плотности материала слоев ρ_i известны, но между слоями существует неидеальный тепловой контакт ($i=1,2,\dots,n$). На обеих тепловых границах, предположим, задаются температуры: U_ϵ - внутренней поверхности; U_n - наружной поверхности. Но температуры слоев $U_i(x_i, r)$ и плотности тепловых их потоков $\frac{\partial U_i(x_i, r)}{\partial x}$ неизвестны.

Нестационарная теплопроводность слоев представлена в соответствии с рисунком 1 [1].

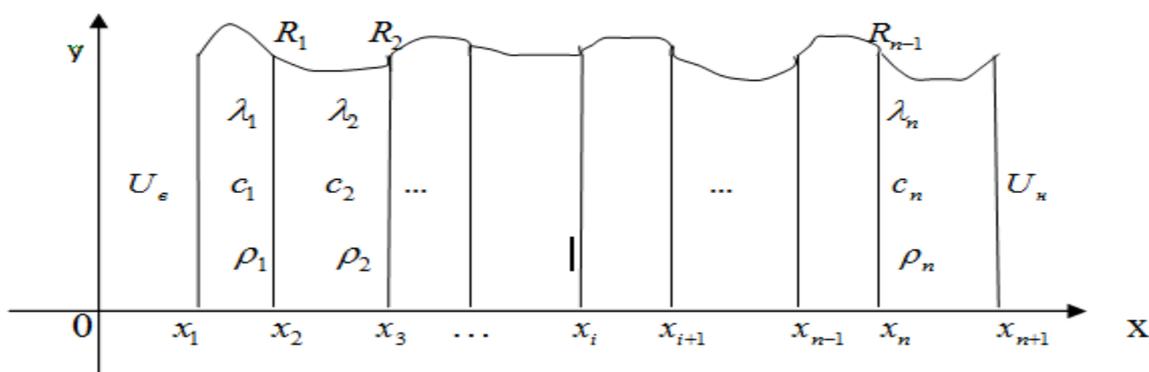


Рис. 1 – К расчету теплопроводности через n – слойную пластину с неидеальным тепловым контактом слоев

Задание их существенно упростило бы решение задачи [2]. Обозначим расстояние от начала координат до границы слоев через $x_0 = 0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_n, x_{n+1}$; толщины слоев через d_i . За начальное температурное поле примем:

$$U_i(x_i, 0) = f_i(x_i), i = 1, 2, \dots, n$$

При таких предположениях, уравнение нестационарной задачи теплопроводности для n -слойной неограниченной пластины с произвольным начальным распределением температуры и с неидеальным тепловым контактом между слоями имеет вид:

$$\frac{\partial U_i(x_i, r)}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 U_i(x_i, \tau)}{\partial x_i^2}, \tag{1}$$

$$\tau > 0, \quad 0 \leq x_i < R, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

с начальными условиями

$$U_i(x_i, 0) = f_i(x_i); \tag{2}$$

и условиями сопряжения на контактах

$$\lambda_i \frac{\partial U_i(x_i, r)}{\partial x_i} = \lambda_{i+1} \frac{\partial U_{i+1}(x_i, r)}{\partial x_{i+1}}; \tag{3}$$

$$\lambda_i \frac{\partial U_i(x_i, r)}{\partial x_i} = \frac{1}{R_i} [U_{i+1}(x_i, r) - U_i(x_i, r)], \tag{4}$$

где a_i – температуропроводность слоев; R_i – контактные сопротивления между слоями; λ_i – теплопроводность слоев; $U(x_i, r)$ – температурное поле слоев; x_i – пространственная координата; τ – время.

$$\lambda_i \frac{\partial U_i(x_i, r)}{\partial x_i} = \Pi_i(x_i, r) = \frac{1}{R_i} [U_{i+1}(x_i, r) - U_i(x_i, r)]$$

Так как тепловые потоки на границе слоев неизвестны, то математически задача сводится к решению системы линейных краевых для определения температурного поля $U(x_i, r)$ и к системе интегральных уравнений Вольтерра второго рода для определения тепловых потоков $\Pi_i(x_i, r)$, через которые выражается температурное поле $U_i(x_i, r)$.

Таким образом, основной задачей становится решение систем интегральных уравнений Вольтерра второго рода для определения тепловых потоков между слоями. Зная тепловые потоки между слоями с неидеальными тепловыми контактами, определяем их температурные поля в многослойных структурах с неидеальными тепловыми контактами между слоями.

Система краевых задач для определения температурного поля многослойных структур с неидеальным тепловым контактом между слоями, начальными условиями, имеют вид

$$\begin{cases} \frac{\partial U_1(x_1, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 U_1(x_1, \tau)}{\partial x_1^2}; \\ U_1(x_1, 0) = f_1(x_1); \\ U_1(0, \tau) = U_s; \\ c \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial U_i(x_i, \tau)}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 U_i(x_i, \tau)}{\partial x_i^2}; \\ U_i(x_i, 0) = f_i(x_i); \\ \lambda_i \frac{\partial U_i(x_{i-1}, \tau)}{\partial x_{i-1}} = \Pi_{i-1}(\tau); \\ \lambda_i \frac{\partial U_i(x_i, \tau)}{\partial x_i} = \Pi_i(\tau); \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial U_n(x_n, \tau)}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 U_n(x_n, \tau)}{\partial x_n^2}; \\ U_n(x_n, 0) = f_n(x_i, n); \\ \lambda_n \frac{\partial U_n(x_{n-1}, \tau)}{\partial x_{i-1}} = \Pi_{n-1}(\tau); \\ \lambda_n \frac{\partial U_n(x_{n-1}, \tau)}{\partial x_i} = \Pi_{n-1}(\tau); \\ U_n(x_n, \tau) = U_B. \end{cases} \quad (7)$$

К решению систем краевых задач (5)-(7) применяем метод конечных преобразований вида

$$\overline{U}(\mu, \tau) = \sum_{m=1}^n \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_0^{\partial m} U_m(x_m, \tau) W_m(x_m, \mu) \partial x_m, \quad (8)$$

где весовая функция для декартовых координат равна 1. Обратный переход осуществляем по формуле

$$U_i(x_i, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\overline{U}(\mu_n, \tau) W_i(x_i, \mu_n)}{Z_N}, \quad (9)$$

где $Z_n = \sum_{m=1}^n \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_0^{R_m} W_m^2(x_m, \mu_n) \partial x_m, W_i(x_i, \mu_n)$ – ядро интегрального преобразования.

Собственные числа соответствующих вспомогательных задач Штурма – Лиувилля обозначим через:

$$\mu_{v1} = \frac{2\nu-1}{2\partial_1} \Pi; \quad \mu_{vi} = \frac{\nu \Pi}{\partial_i}; \quad i = 2, 3, \dots, n;$$

$$\mu_{vn} = \frac{(2\nu-1)^i \Pi}{2\partial_n}. \quad (10)$$

Тогда получим решение систем краевых задач через их тепловые потоки в виде

$$U_1(x_1, \tau) = \frac{2}{\partial_1} \sum_{v=1}^{\infty} \exp(-a_1 \mu_{v1}^2 \tau) \left\{ \frac{U_e}{\mu_{v1}} [\exp(a_1 \mu_{v1}^2 \tau) - 1] + (-1)^{v-1} \frac{a_1}{\lambda_1} \int_0^{\tau} \Pi_1(t) \exp(a_1 \mu_{v1}^2 t) \partial t + \int_0^{x_1} f_1(x) \sin(\mu_{v1} x) \partial x \right\} \sin(\mu_{v1} x); \quad (11)$$

$$U_i(x_i, \tau) = \frac{1}{\partial_i} \left\{ \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) \partial x + \frac{a_i}{\lambda_i} \int_0^{\tau} [\Pi_i(t) - \Pi_{i-1}(t)] \partial t + \frac{2}{\partial_i} \sum_{v=1}^{\infty} \exp(-a_i \mu_{vi}^2 \tau) \right\} \times$$

$$\times \left\{ \frac{a_i}{\lambda_i} \int_0^{\tau} [(-1)^v \Pi_i(t) - \Pi_{i-1}(t)] \exp(a_i \mu_{vi}^2 t) \partial t + \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) \cos[\mu_{vi}(x - x_{i-1})] \partial x \right\} \cos \mu_{vi}(x - x_{i-1}), \quad (12)$$

$i = 2, \dots, n;$

$$U_n(x_n, \tau) = \frac{2}{\partial_n} \sum_{\nu=1}^{\infty} \exp(-a_i \mu_{\nu}^2 \tau) \left\{ \begin{aligned} & (-1)^{\nu-1} \frac{U_{\varepsilon}}{\mu_{\nu}} [\exp(a_n \mu_{\nu}^2 \tau) - 1] - \\ & - \frac{a_n}{\lambda_n} \int_0^{\tau} \Pi_{n-1}(t) \exp(a_n \mu_{\nu}^2 t) \partial t + \end{aligned} \right\} \cos[\mu_{\nu}(x - x_{n-1})] + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f_n(x) \cos[\mu_{\nu}(x - x_{n-1})] \partial x \quad (13)$$

Далее, используя условия сопряжения на границах слоев (3)-(4), переходим к решению системы и интегральных уравнений Вольтерра второго рода типа свертки относительно тепловых потоков на границе слоев с неидеальными тепловыми контактами вида [3].

$$\begin{cases} \Pi_1(\tau) = \Phi_1(\tau) + \int_0^{\tau} K_{11}(\tau - t) \Pi_1(t) \partial t + \int_0^{\tau} K_{12}(\tau - t) \Pi_2(t) \partial t; \\ \Pi_i(\tau) = \Phi_i(\tau) + \int_0^{\tau} K_{i-1,i}(\tau - t) \Pi_{i-1}(t) \partial t + \int_0^{\tau} K_{i,i}(\tau - t) \Pi_i(t) \partial t + \int_0^{\tau} K_{i,i+1}(\tau - t) \Pi_{i+1}(t) \partial t; \\ \Pi_n(\tau) = \Phi_n(\tau) + \int_0^{\tau} K_{n-1,n}(\tau - t) \Pi_{n-1}(t) \partial t + \int_0^{\tau} K_{n,n}(\tau - t) \Pi_n(t) \partial t, \end{cases} \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} \phi_1(\tau) &= \frac{1}{R_1 \partial_2} \left[\int_{x_1}^{x_2} f_2(x) \partial x + 2 \partial_2 \sum_{\nu_1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{\partial_2} \exp(-a_2 \mu_{\nu_2}^2 \tau) \int_{x_1}^{x_2} f_2(x) \cos[\mu_{\nu_2}(x - x)] \partial x - \frac{(-1)^{\nu-1}}{\partial_1 \mu_{\nu_1}} U_{\varepsilon} \right. \right. \\ & \left. \left. \left[1 - \exp(-a_1 \mu_{\nu_1}^2 \tau) \right] - \frac{(-1)^{\nu-1}}{\partial_1} \exp(-a_1 \mu_{\nu_1}^2 \tau) \int_0^{x_1} f_1(x) \sin \mu_{\nu_1} x \partial x \right\} \right]; \\ k_{11}(\tau - t) &= -\frac{a_2}{R_1 \partial_2 \lambda_2} - \frac{2}{R_1} \sum_{\nu=1}^{\infty} \left\{ \frac{a_1}{\lambda_1 \partial_1} \exp[-a_1 \mu_{\nu}^2 (\tau - t)] + \frac{a_2}{\lambda_2 \partial_2} \exp[-a_2 \mu_{\nu}^2 (\tau - t)] \right\}; \\ J_{12}(\tau - t) &= \frac{a_2}{R_1 \lambda_2 \partial_2} \left\{ 1 + 2 \sum_{\nu=1}^{\infty} (-1)^{\nu} \exp[-a_2 \mu_{\nu}^2 (\tau - t)] \right\}; \\ \Phi_i(\tau) &= \frac{1}{R_i d_{i+1}} \left[\int_{x_i}^{x_{i+1}} f_{i+1}(x) \partial x - \frac{1}{R_i d_i} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) \partial x + \frac{2}{R_i} \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{1}{d_{i+1}} \exp[-a_{i+1} \mu_{\nu}^2 \tau] \right. \\ & \left. \int_{x_i}^{x_{i+1}} (x) \cos[\mu_{\nu} (x - x_i)] \partial x - \frac{(-1)^{\nu}}{d_i} \exp(-a_1 \mu_{\nu}^2 \tau) \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) \cos[\mu_{\nu} (x - x_{i-1})] \partial x \right]. \end{aligned}$$

Система интегральных уравнений (14) кратко в матричной форме имеет вид

$$\tilde{\Pi}(\tau) = \tilde{\Phi}(\tau) + \tilde{K}(\tau - t) \tilde{\Pi}(t) dt. \quad (15)$$

Данная задача нестационарной теплопроводности через n – слойную пластину приводит к специфической матрице для ядра $\tilde{K}(\tau - t)$ интегрального уравнения (15). На основании (14) можем записать

$$\tilde{K}(\tau - t) = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & K_{32} & K_{33} & K_{34} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & K_{n,n-1} & K_{n,n} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Матрица 16 является трех диагональной. В частном случае, если парные произведения элементов расположенных симметрично относительно главной диагонали положительны, то такая матрица превращается в матрицу Якоби. Основываясь на трех диагональности матрицы и применяя преобразование Лапласа на основе теоремы о свертке, получим решение системы (14) в изображениях в матричной форме, где P – параметр преобразования Лапласа.

$$\overline{\Pi}(p) = \overline{\Phi}(p) + \overline{\tilde{K}}(p)\overline{\Pi}(p).$$

Откуда

$$(\overline{\tilde{K}}(p) - J) \overline{\Pi}(p) = -\overline{\Phi}(p) \quad (17)$$

Здесь J – единичная матрица;

$\overline{\Phi}(p)$ – столбец изображений по Лапласу свободных членов уравнения (15);

$\overline{\Pi}(p)$ – матрица столбец изображений неизвестных тепловых потоков на границах между слоями.

$$\overline{\tilde{K}}(p) - J = \begin{pmatrix} \overline{K}_{11} & \overline{K}_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \overline{K}_{21} & \overline{K}_{22} - 1 & \overline{K}_{23} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \overline{K}_{32} & \overline{K}_{33} - 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \overline{K}_{n,n-1} & \overline{K}_{n,n} - 1 & \overline{K}_{n,n} \end{pmatrix} \quad (18)$$

Матричное уравнение (18) представляет собой систему n алгебраических уравнений относительно n изображений тепловых потоков $\overline{\Pi}_i(\tau)$.

Решая ее, получаем изображения искомым тепловых потоков между слоями. Переходя к оригиналам по формуле (9), завершаем решение системы интегральных уравнений Вольтерра второго рода относительно тепловых потоков (14). Это позволяет получить и решение краевых задач (1)-(4) с неидеальными контактами между слоями.

Список литературы

1. *Абузяров В.Н.* Нестационарная теплопроводность в слоях с неидеальным контактом / В.Н. Абузяров, В.Н. Елисеев, Е.Н. Чернопрудова // *Научно-технический вестник Поволжья.* №1 2017г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2017. – 110 с.
2. *Елисеева, Т.В.* Интегральные уравнения и вариационные исчисления: учеб. пособие / Т.В. Елисеева. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. -104 с.
3. *Шишкин, Г.А.* Краевые задачи интегродифференциальных уравнений Вольтерра с функциональными запаздываниями: монография. Издательство – Улан-Удэ; Бурятского государственного университета, 2015. – 78 с.

05.13.18

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, А.В. Волков канд. техн. наук, А.Д. Ваничкин

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА CORDIC ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ТРЁХФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА

В данной статье рассмотрено применение итерационного метода CORDIC для реализации алгоритма трёхфазного генератора синусоидального напряжения, который может применяться при построении систем управления инверторами напряжения на базе простой логики или ПЛИС. Проект был реализован на базе ПЛИС компании Altera на чипе EP4CE6E22C8.

Ключевые слова: итерационный метод, математическая модель, экспериментальное исследование.

В электронных устройствах часто возникает необходимость в аппаратной или программной реализации методов вычисления элементарных функций таких как синус, косинус угла и другие. В основе всего лежит алгоритм CORDIC в отечественной литературе именуемый как метод «цифра за цифрой». CORDIC — это аббревиатура от *Coordinate Rotation Digital Computer*: цифровое вычисление поворота системы координат. Алгоритм «цифра за цифрой» был разработан для аппаратного поворота вектора на плоскости с помощью простых операций «сдвиг регистра вправо» и сложение/вычитание регистров. Сущность итерационных методов заключается в построении последовательности $y_{(i+1)}=f(y_i)$, сходящейся к функции $y(x)$. Рассмотрим это более подробно. Необходимо узнать конечные координаты некоторого вектора после поворота на угол φ и начальными координатами (x_0, y_0) . Координаты (x_1, y_1) вычисляются по тригонометрическим формулам:

$$x_1 = x_0 * \cos(\varphi) - y_0 * \sin(\varphi), \quad (1)$$

$$y_1 = x_0 * \sin(\varphi) + y_0 * \cos(\varphi) \quad (2)$$

После тригонометрических преобразований, равенства примут вид:

$$x_1 = \cos(\varphi) * (x_0 - y_0 * \tan(\varphi)), \quad (3)$$

$$y_1 = \cos(\varphi) * (y_0 + x_0 * \tan(\varphi)). \quad (4)$$

Известно, что побитовый сдвиг числа влево представляет собой умножение на 2, а побитовый сдвиг вправо – деление на 2, поэтому, выбирая $\tan(\varphi) = \pm 2^{-i}$, где i – целое число, умножение x_0 и y_0 на $\tan(\varphi)$ является операцией арифметического сдвига (побитовый сдвиг с сохранением знака) вправо на i разрядов. Конечный угол представляет собой сумму углов каждой итерации $a_i = \pm \arctg(2^{-i})$, где i – номер итерации. Знак множителя $\cos(\varphi)$, не зависит от направления поворота, функция $\cos(\varphi)$ – чётная. Величина $\cos(\varphi)$ является константой на каждом шаге. Итерационные формулы для i -го шага имеют вид:

$$x_{i+1} = K_i * (x_i - \sigma_i * y_i * 2^{-i}), \quad (5)$$

$$y_{i+1} = K_i * (y_i + \sigma_i * x_i * 2^{-i}), \quad (6)$$

$$z_{i+1} = z_i + \sigma_i * \arctg(2^{-i}). \quad (7)$$

$$K_i = \cos(\arctg(2^{-i})) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{2^{2i}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2^{-2i}}}$$

Здесь $\sigma_i \in \{1, -1\}$ – коэффициент деформации вектора на i -м шаге, $\sigma_i \in \{1, -1\}$ оператор, имеющий два возможных состояния отвечающий за направление поворота, z_i – разница между заданным углом и текущим.

Произведение коэффициентов деформации для всех итерационных шагов является сходящимся и дает суммарное растяжение вектора (8).

$$K_n = \prod_{i=0}^{n-1} K_i = \prod_{i=0}^{n-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 2^{-2i}}} \quad (8)$$

Метод *CORDIC* используется либо в режиме «поворот» либо режиме «вектор». В первом режиме осуществляется поворот вектора на плоскости, при этом начальное значение разности углов $z_0 = \varphi$ и с ростом номера итерации i , z_i стремится к нулю. Значение оператора σ_i определяется как

$$\sigma_i = \text{sign}(z_i) \quad (9)$$

Во втором режиме, вектор стягивается к одной из координатных осей, что используется для нахождения длины вектора, при этом $z_0 = 0$ и с ростом номера итерации i , z_i

стремится к значению $\arctg\left(\frac{y_0}{x_0}\right)$. Значение оператора σ_i определяется как

$$\sigma_i = \text{sign}(y_i) \quad (10)$$

В данной работе рассматривается реализация метода *CORDIC* в режиме «поворот», так как нас интересует расчет $\sin(\varphi)$ и $\cos(\varphi)$. За начальные значения операторов взяты $x_0 = \rho * K_n^{-1}$, $y_0 = 0$, $z_0 = \varphi$, где ρ – длина вектора.

На рисунке 1 представлена структурная схема проекта, поясняющая связи между отдельными модулями. В схеме необходим один вход для тактовой частоты и три группы двенадцати битных выходов, по одной группе на фазу. Для управления частотой выходных синусоид, необходимо подавать на вход конвейера *CORDIC* значение угла в интервале от 0 до 3216 с определенной частотой и сдвигом. За это отвечает модуль «*step_up_down*» – модуль управления частоты дискретизации синусоиды и угла. Следует напомнить, что алгоритм *CORDIC* вычисляет значения синуса от 0 до 90 градусов и для того чтобы получить синусоиду в полном диапазоне, модуль «*select_half*» прибавляя или вычитая 2048 восстанавливает форму синуса. Алгоритм *CORDIC* выполняет модуль «*cordic*» в котором последовательно соединены 12 модулей «*rotator*» (рисунки 2), каждый из которых реализует поворот вектора на заданный угол.

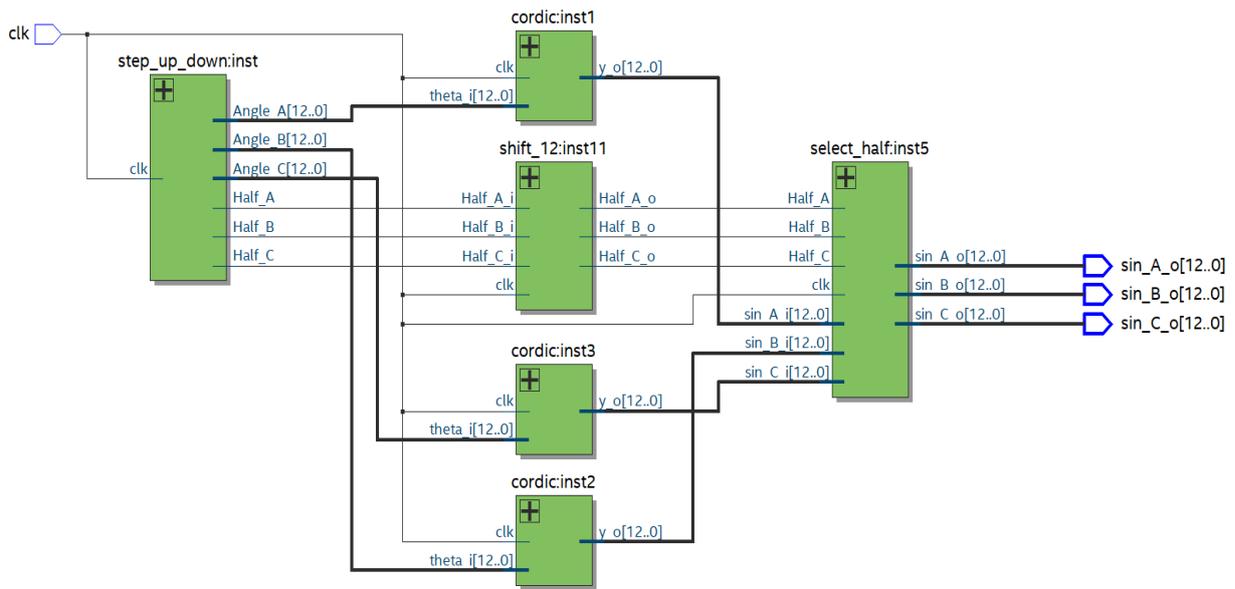


Рис. 1 – Структурная схема проекта

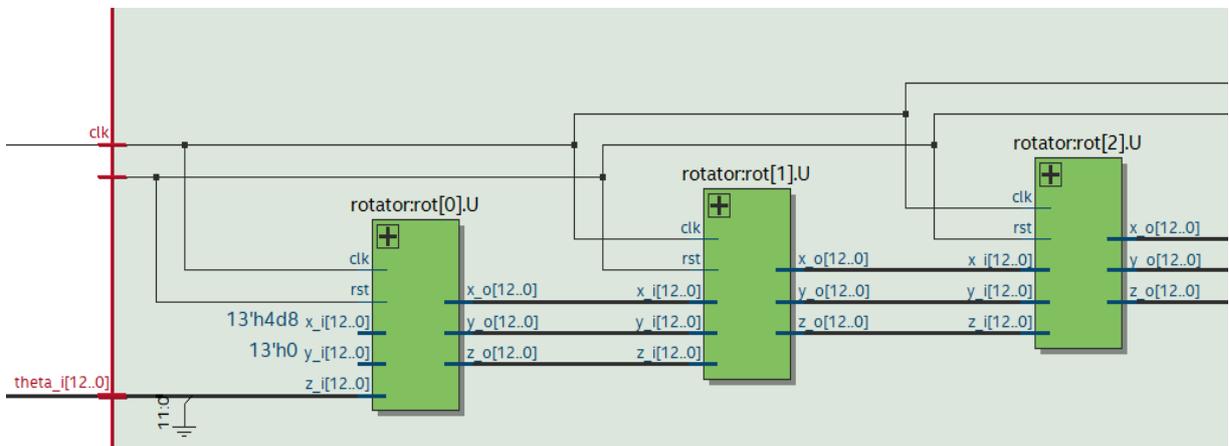


Рис. 2 – Часть внутренней структуры модуля «cordic»

Модуль «rotator» реализует каждую из итераций алгоритма. Здесь параметр «width_data» определяет разрядность выходного синуса, параметр «iteration» хранит номер модуля в конвейере, параметр «tangle» хранит значение угла для этой итерации. Знаковый вход x_i содержит проекцию вектора на ось X (значение косинуса) до поворота, а y_i содержит значение синуса z_i – значение угла для которого необходимо вычислить синус. Выходы x_o , y_o хранят вычисленные значения z_o – разница между искомым и полученным углом.

Экземпляры модуля «signed_shifter» «x_shifter» и «y_shifter» производят арифметический сдвиг X_d и Y_d - это результат арифметического сдвига x_i , y_i на количество итераций i . В момент обнаружения фронта тактового сигнала, σ_i определяется как знак z_i , тем самым задает направление поворота исходного вектора.

Назначение входов/выходов совпадает с модулем «rotator», отличие заключается в отсутствии входов x_i и y_i . Объясняется это тем, что независимо от значения угла $theta_i$, начальные значения x_0 и y_0 всегда одинаковы и определяются как $x_0 = \rho * K_n^{-1}$, $y_0 = 0$. Для 12 битной разрядности справедливо $x_0 \approx 1240$. В формуле ρ приравнивается к половине диапазона (2048), так как после модуля «select_half» диапазон увеличится вдвое.

Рассмотрим ниже функцию, которая выдает для каждого элемента конвейера свое значение арктангенса. Данная функция, принимая номер элемента конвейера, выдает значение угла в 12 битном формате. Расчет этих значений производится по формуле:

$$a_i = \operatorname{arctg} \frac{(2^i) * 2^{12}}{2} \quad (11)$$

Приведём пример для нулевой итерации: $a_0 = 1608$. Далее в модуле описываются массивы из проводов (wire) для подключения всех элементов конвейера и входов/выходов.

Модуль «sordic» принимает диапазон значений угла $theta_i$ от 0 до 3216. Следует сказать, что число 3216 представляет собой цифровое представление угла в 90 градусов. В связи с тем, что в проекте используются три конвейера, модуль «step_up_down» генерирует 3 группы значений углов со сдвигом в 120 градусов. Для выполнения этой задачи, по каждому фронту тактового импульса clk , регистр $count_ang$ инкрементирует своё значение от 0 до 1072. В момент, когда регистр достигает максимального значения, происходит переключение одного из 6 состояний ($state$) конечного автомата. Конечный автомат формирует выходные значения углов $Angle_A$, $Angle_B$, $Angle_C$, а также управляющие выходы $Half_A$, $Half_B$ и $Half_C$ которые служат для определения знака синуса в конкретный полупериод. Состояния автомата циклически повторяются с частотой в два раза большей, чем частота синусоиды. Работу автомата и счетчика иллюстрирует рисунок 3.

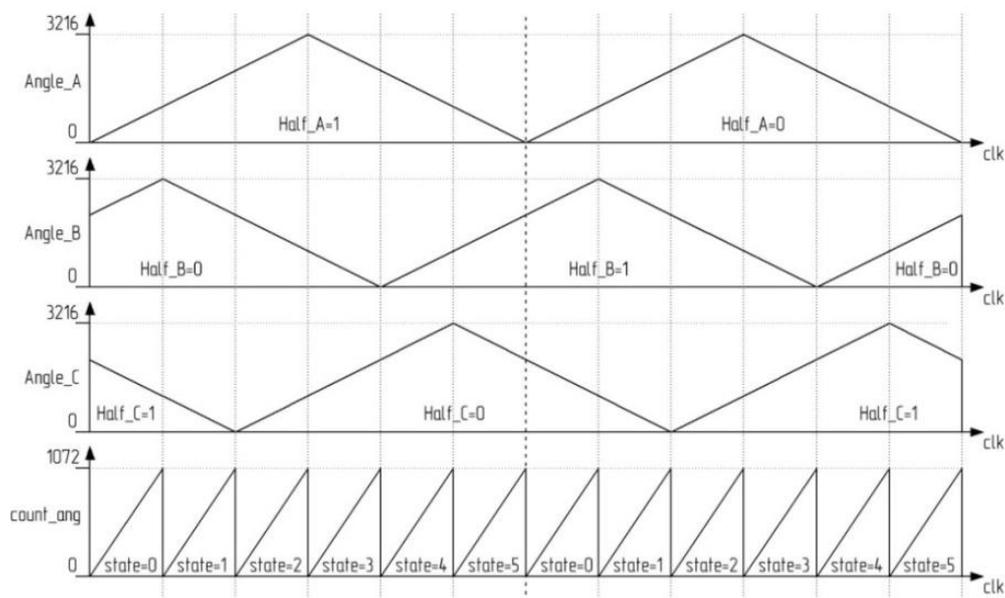


Рис. 3 – Диаграмма выходных сигналов модуля «step_up_down»

Применение данного алгоритма обосновано только в том случае, когда необходимо обеспечить высокую точность работы и быстродействие системы. Пользуясь методом «цифра за цифрой» (CORDIC) на базе ПЛИС компании Altera на чипе EP4CE6E22C8 удалось реализовать в виде макетного образца аппаратный трехфазный генератор синусоидального сигнала напряжения. Необходимо отметить, что данный генератор может применяться при построении систем управления инверторами напряжения на базе простой логики или ПЛИС.

Список литературы

1. Захаров А.В. Алгоритмы CORDIC. Современное состояние и перспективы / А. В. Захаров, В. М. Хачумов // М.: Физматлит. 2004. – 20 с.
2. Дайнеко Д. Реализация CORDIC-алгоритма на ПЛИС / Д. Дайнеко // Компоненты и технологии. – 2011. – №12. – С. 36-46.
3. Байков В.Д. Аппаратурная реализация элементарных функций в ЦВМ / В. Д. Байков, В. Б. Смолков // Издательство Ленинградского университета, 1975. – 96 с.

05.13.18

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, А.В. Волков канд. техн. наук, А.Д. Ваничкин

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В данной статье рассмотрена математическая модель натриевой лампы высокого давления на основе искусственной нейронной сети. Приводится построение и обучение двухслойной динамической нейронной сети с линейными функциями активации. Обучение нейронной сети осуществлялось по алгоритму обратного распространения ошибки с использованием метода Левенберга – Марквардта.

Ключевые слова: *нейронная сеть, математическая модель, экспериментальное исследование.*

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой новую и весьма перспективную вычислительную технологию, позволяющую в ряде случаев весьма эффективно решать вычислительные задачи в самых различных областях человеческой деятельности. Приложение нейронных сетей охватывает широкий спектр областей, представляющих интерес для распознавания образов, обработки данных с шумом, ассоциативного поиска, классификации, оптимизации, прогнозирования, диагностики, обработки сигналов и изображений, контроля, управления, сегментации и сжатия данных, сложных процессов моделирования, искусственного зрения и распознавание речи. Возможность моделирования нелинейных процессов, работать с зашумленными данными и способность к адаптации позволяют применять нейронные сети для решения широкого класса задач управления.

В задачах контроля и управления часто приходится иметь дело с динамическими моделями управляемых систем. Тогда линейное разностное уравнение, или авторегрессионная модель скользящего среднего (АРСС) (модель, которая описывает динамику дискретных систем), представляет собой взвешенную сумму входных и выходных переменных, задержанных на определенное количество циклов квантования, определяемых порядком модели. Поскольку искусственный нейрон также выполняет операцию взвешенной суммы входных переменных, дискретную динамическую модель возможно построить на основе искусственных нейронов.

Для получения модели АРСС, необходимо использовать двухслойную нейронную сеть Элмана с двумя динамическими нейронами во входных и линейных функциях активации в каждом слое [1]. На втором уровне нормальный сумматор можно использовать в качестве нейрона.

Уравнение, описывающее динамику работы такой сети, будет выглядеть:

$$y(k) = a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + \dots + a_n y(k-n) + b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_m x(k-m) \quad (1)$$

Используя многомерные и многослойные динамические нейронные сети, можно получить нелинейные многомерные динамические модели.

Динамические нейронные сети обучаются по выборкам, которые представляют собой тренды, или временные ряды, зарегистрированные на реальном объекте.

При обработке статистических данных на компьютере практический интерес представляет использование дискретных моделей случайных процессов и вычисление статистических характеристик этих процессов с использованием параметров дискретных моделей. В этом случае оценка корреляционной функции и спектральной плотности сводится к оценке

коэффициентов дискретной передаточной функции и дисперсии ненаблюдаемого белого шума, то есть к идентификации параметров *APCC* – модели, которая генерирует стационарный эргодический случайный процесс, или процесс *APCC*. Таким образом, процессы *APCC* позволяют получать оценки спектральной плотности непосредственно из наблюдений, не проходя вычисления статистических характеристик наблюдений. Из-за этого использование этой модели оказывает небольшое влияние на методы, основанные на быстром преобразовании Фурье. В дополнение к моделям *APCC* можно использовать более простые модели для моделирования случайных процессов: авторегрессионные модели (*AP*) и мобильные средние модели скользящего среднего (*CC*).

Рассмотрим построение и обучение двухслойной динамической нейронной сети с линейными функциями активации, моделирующей работу натриевой лампы высокого давления (*НЛВД*) [3]. Изменение параметров происходит за счет изменения параметров переменных, входящих в уравнение (1).

На рисунке 1 показаны результаты моделирования *НЛВД*, при этом применялась двухслойная динамическая нейронная сеть с линейной функцией активации.

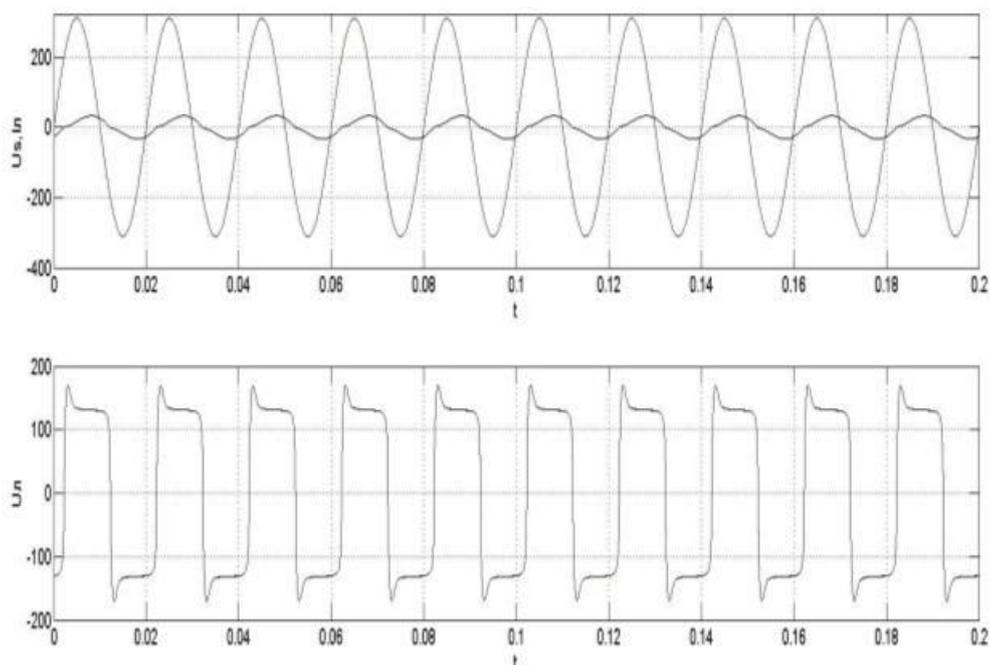
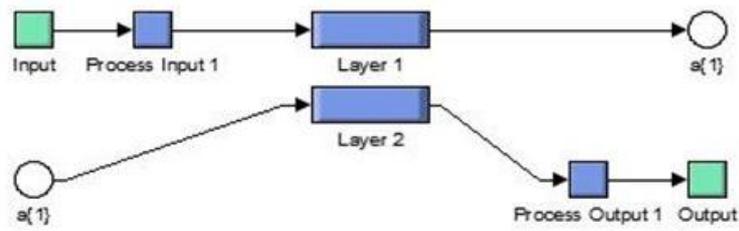


Рис. 1 – Результаты моделирования *НЛВД*

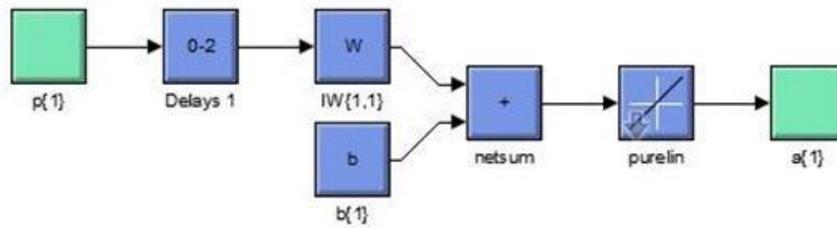
Эти параметры использовались в качестве обучающей выборки. Обучение осуществлялось по алгоритму обратного распространения ошибки с использованием метода *Левенберга – Марквардта* [2].

В результате получена нейронная сеть со структурой, показанной на рисунке 2. В первом слое использовалось два нейрона, во втором – один.

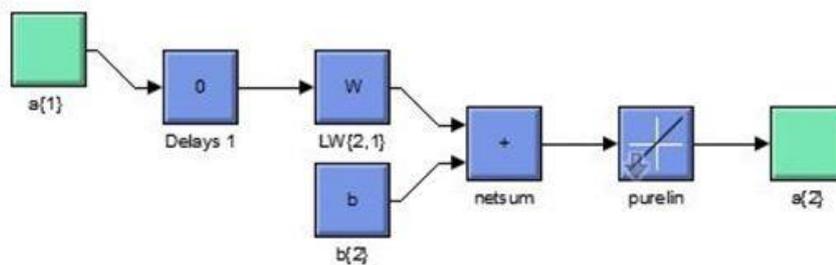
Ошибка обучения такой сети (рисунок 3) практически равна нулю.



а



б



в

Рис. 2 – Структура нейронной сети:
 а – двухслойная нейронная сеть; б – структура первого слоя;
 в – структура второго слоя

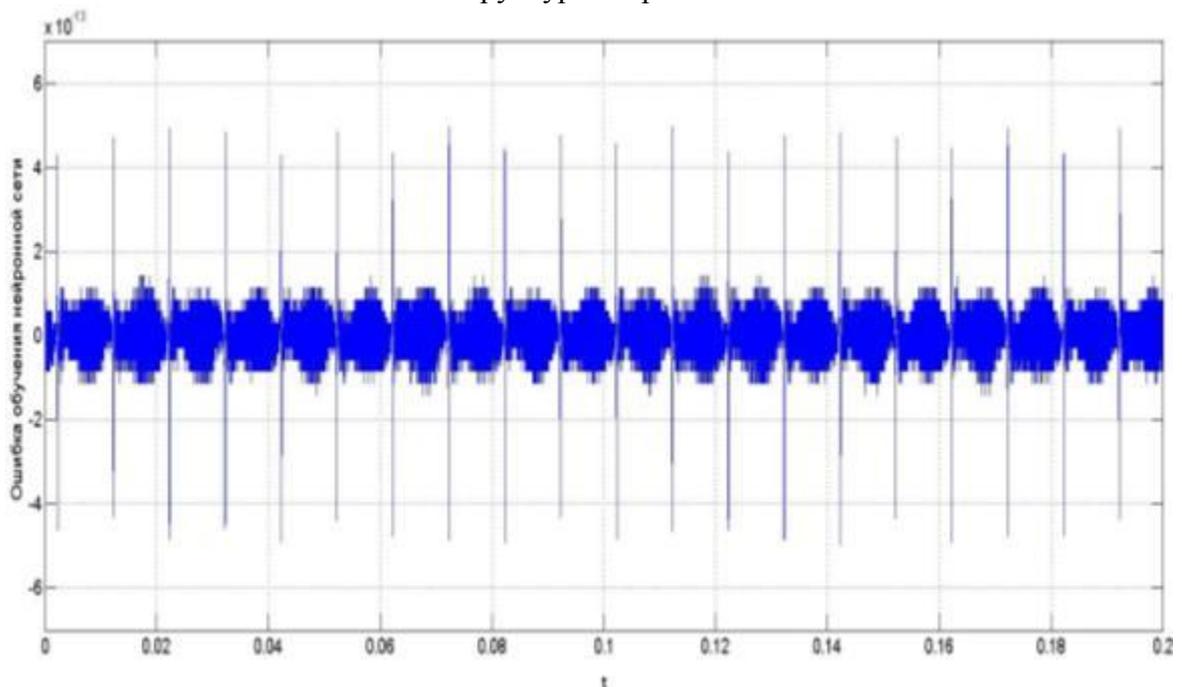


Рис. 3 – Ошибка обучения нейронной сети

Нейросетевая модель, построенная на основе динамической двухслойной нейронной сети, характеризуется 17 параметрами, представляющими собой синаптические (весовые) коэффициенты сети. Ошибка моделирования составляет порядка 10^{-13} , что практически можно считать равной нулю.

Список литературы

1. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей / А.Н. Горбань. – М.: СП ПараГраф. – 1990. – 159 с.
2. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 496 с.
3. *Semenov A.D.* Quality control of sodium high-pressure lamps by the singular decomposition method [Электронный ресурс] / A.D. Semenov, A.V. Volkov// 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, Far East Con 2018. – 2019. – P. 1–4. –Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8602531/> (дата обращения: 07/07/2020).

05.13.18

¹Ф.А. Галимянов, ²П.В. Малов

¹Казанский государственный энергетический университет,
кафедра Информатики и информационно управляющих систем,
²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра Информатики и прикладной математики,
Казань, fanisgalimyanov@gmail.com, pavel.malov@mail.ru

ВЕРОЯТНОСТНО-КОРРЕКТНАЯ В СМЫСЛЕ АППРОКСИМАЦИИ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ

В статье рассматривается принцип обучения нейронной сети в системах двоичной классификации. В работе вводятся специальные термины, такие как: среда, понятия, класс понятий. Под понятием здесь следует понимать любой объект из предметной области. Используются примеры, которые могут быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от того входят они в понятия или нет. Приводится зависимость последовательности данных обучающей длины для понятия. Находится вероятность ошибки при обучении с использованием целевой функции. Для алгоритма обучения, определяется два параметра управления: параметр ошибки и параметр доверия. В работе также приводится блочная диаграмма модели обучения.

Ключевые слова: аппроксимация, вероятность, нейронные сети, двоичная классификация, обучение с учителем, класс понятий.

Введение

Вероятностно-корректная в смысле аппроксимации (probably-approximately correct) модель обучения (РАС) была описана в [1]. Как и следует из ее названия, эта модель представляет собой вероятностный "каркас" (или среду) для изучения процессов обучения и обобщения в системах двоичной классификации. Она тесно связана с принципом обучения с учителем.

Постановка задачи

Сначала определимся с терминологией, связанной со средой X . Множество из элементов X называется понятием (concept), а любой набор его подмножеств — классом понятий (concept class). Примером понятия называется любой объект из предметной области, вместе с меткой своего класса. Если пример относится к данному понятию, он называется положительным примером (positive example). Если он не относится к данному понятию, то называется отрицательным примером (negative example). Понятие, для которого приводятся примеры, называется целевым (target concept). Последовательность данных обучения длины N для понятия c можно определить следующим образом:

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

В этой последовательности могут содержаться и повторяющиеся примеры. Примеры x_1, x_2, \dots, x_n выбираются из среды X случайным образом, в соответствии с некоторым фиксированным, но неизвестным распределением вероятности. В определении (1) заслуживают внимания также следующие вопросы.

- Целевое понятие $c(x_i)$ рассматривается как функция, отображающая X в множество $\{0, 1\}$. При этом предполагается, что функция $c(x_i)$ неизвестна.
- Предполагается, что примеры статистически независимы. Это значит, что функция плотности совместной вероятности двух различных примеров x_i и x_j равна произведению соответствующих функций плотности вероятности.

В контексте терминологии, среда X соответствует пространству входных сигналов нейронной сети, а целевое понятие — ожидаемому отклику сети.

Набор понятий, порождаемых средой X , называется пространством понятий B . Например, пространство понятий может содержать фразы типа «буква А», «буква Б» и т.д. Каждое из этих понятий может быть закодировано различными способами при формировании множеств положительных и отрицательных примеров. В ракурсе обучения с учителем используется другое множество понятий. Обучаемая машина обычно представляет собой множество функций, каждая из которых соответствует определенному состоянию. Например, машина может предназначаться для распознавания «буквы А», «буквы Б» и т.д. Множество всех функций (т.е. понятий), определяемых обучаемой машиной, называется пространством гипотез (hypothesis space) G . Это пространство может совпадать или не совпадать с пространством понятий B . С определенной точки зрения пространства понятий и гипотез являются аналогами функции $f(x)$ и аппроксимирующей функции $F(x, w)$.

Предположим, что существует некоторое целевое понятие $c(x) \in B$, принимающее значения 0 и 1. Требуется обучить этому понятию нейронную сеть при помощи ее настройки на множестве данных T , определенном выражением (1). Пусть $g(x) \in G$ — гипотеза, соответствующая отображению входа на выход, сформированному в результате проведенного обучения. Одним из способов достижения успеха в обучении является измерение степени близости гипотезы $g(x)$ к целевой концепции $c(x)$. Естественно, всегда существуют ошибки, обеспечивающие различие этих величин. Эти ошибки являются следствием того, что мы пытаемся обучить нейронную сеть некоторой функции на основе ограниченной информации о ней. Вероятность ошибки обучения определяется выражением

$$v_{train} = P(x \in X: g(x) \neq c(x)) \quad (2)$$

Распределение вероятности в этом примере должно быть таким же, как и при формировании примеров. Целью обучения РАС является минимизация значения v_{train} . Предметная область, доступная алгоритму обучения, определяется размером N обучающего множества T . Кроме того, алгоритм обучения имеет два следующих параметра управления.

- Параметр ошибки (error parameter) $\varepsilon \in (0,1]$. Этот параметр задает величину ошибки, при которой аппроксимация целевого понятия $c(x)$ гипотезой $g(x)$ считается удовлетворительной.

- Параметр доверия (confidence parameter) $\delta \in (0,1]$. Этот параметр задает степень правдоподобия при построении "хорошей" аппроксимации.

Модель обучения РАС изображена на рисунке 1:

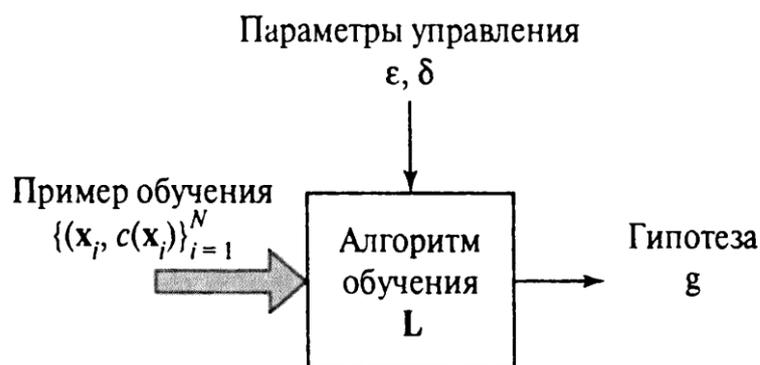


Рис. 1 - Блочная диаграмма модели обучения РАС

Выводы

Теперь можно формализовать модель обучения РАС [2], [3], [4].

Пусть B — класс понятий для среды X . Считается, что класс B является РАС - обучаемым, если существует алгоритм L , обладающий следующим свойством. Для любого целевого понятия $c \in B$, для любого распределения вероятности на X и для всех $0 < \varepsilon < 1/2$ и $0 < \delta < 1/2$ при использовании алгоритма L для множества примеров

обучения $T = \{(x_i, c(x_i))\}_{i=1}^N$ вероятностью не хуже $(1 - \delta)$ результатом алгоритма обучения L будет гипотеза g с ошибкой обучения $v_{train} < \varepsilon$. Эта вероятность получается на любом случайном подмножестве множества T и при любой внутренней рандомизации, которая может существовать в алгоритме обучения L . При этом размер обучающего множества N должен превышать значение некоторой функции от δ и ε .

Другими словами, если размер N обучающего множества T достаточно велик, то существует вероятность, что в результате обучения сети на этом наборе примеров отображение входа на выход, реализуемое сетью, будет "приблизительно корректным". Обратим внимание, что, несмотря на зависимость от δ и ε , количество примеров N не обязательно зависит от целевого понятия c и распределения вероятности в X .

Список литературы

1. Valiant L.G. A theory of the learnable // Communications of the Association for Computing Machinery, 1984, vol. 27, p. 1134-1142
2. Kearns M.J. and U.V. Vazirani An Introduction to Computational Learning Theory // Cambridge, MA: MIT Press, 1994.
3. Галимянов Ф.А., Малов П.В. Конструктивные, независимые от распределения пределы обобщающей способности обучаемых машин // Научно-технический вестник Поволжья, № 6, 2020, с. 102-105.
4. Vidyasagar M. A Theory of Learning and Generalization // London: Springer-Verlag, 1997

05.13.18

А.А. Зайдуллин, О.Ш. Даутов д-р техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет – КАИ
имени А.Н. Туполева,
институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиотехнических систем,
Казань, zaydullin.aynur@yandex.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СПЕКТРА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ СРЕДУ С ГРАДИЕНТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

В работе представлены результаты исследования преобразования спектра зондирующих радиолокационных импульсов при распространении через неоднородную двухслойную среду с градиентным изменением волнового сопротивления вдоль направления распространения.

Ключевые слова: неоднородная среда, спектр радиоимпульса, распространение радиоволн, расчет электромагнитного поля, изменение спектра сигнала.

1. Введение

В настоящее время актуальны задачи определения параметров сигналов в реальных неоднородных средах. Сигналы в современных РЭС являются многочастотными с различными компонентами амплитудного и фазового спектра. Для изучения распространения таких сигналов можно использовать результаты исследования распространения монохроматической волны в неоднородной среде.

Существует несколько аналитических методов определения значений электромагнитного поля в неоднородной среде. Первый метод - это матричный подход. Второй метод - метод дифференциальных уравнений. До сравнительно недавнего времени для представления поля плоской волны в неоднородной среде использовалось приближенное решение – т. н. приближение Венцеля – Крамерса – Бриллюена (ВКБ). Точное решение для среды с кусочно-линейной зависимостью волнового сопротивления вдоль направления распространения было получено в 2007 году в работе [1]. Этот метод, в отличие от выше указанных, позволяет получить точное решение при любом градиенте волнового сопротивления. Форма представления решения позволяет рассмотреть и волны многочастотных сигналов и исследовать представляющий значительный научный и практический интерес задачу об изменении спектра сигнала при его прохождении через неоднородную среду. В настоящей работе впервые ставится и решается задача точного расчета преобразования спектра радиолокационного импульса с прямоугольной огибающей при его прохождении неоднородной среды с кусочно-линейным изменением импеданса вдоль направления распространения.

2. Основная часть

Общие формулы для компонент поля монохроматической плоской электромагнитной волны в одномерной неоднородной среде с градиентным изменением волнового сопротивления получены в [1]. В соответствии с ними поле в неоднородной среде с линейно убывающим, а затем возрастающим волновым сопротивлением и средой за ее пределами, по следующей формуле [2]:

$$E(z) = E(0) \exp(-i \int_0^z k(z') \frac{1 - R(z')}{1 + R(z')} dz') \quad (1)$$

где z' – переменная интегрирования, z – это координата точки неоднородной среды в которой вычисляется поле электромагнитной волны (может быть равной толщине слоя неоднородной среды), а $R(z')$ – коэффициент отражения для среды с кусочно-линейным изменением импеданса, удовлетворяющий уравнению Рикатти, вычисленный в работе [1].

Зондирующий радиолокационный радиоимпульс можно представить, применяя ряд Фурье, в виде весовой суммы гармонических сигналов с определенными амплитудами и фазами. В свою очередь неоднородную среду обоснованно можно представить как фильтр со своей комплексной амплитудной и фазовой характеристикой. Каждый гармонический сигнал в указанном спектре будет проходить через среду независимо от других сигналов. По этой причине можно применить принцип суперпозиции, согласно которому прохождение зондирующего радиолокационного радиоимпульса можно представить как прохождение весовой суммы гармонических сигналов с определенными амплитудами и фазами.

Так как у нас есть решение для монохроматических гармонических сигналов, мы можем приступить к вычислению прохождения радиолокационных радиоимпульсов через неоднородную среду. Параметры его выберем следующими: несущая частота $2 \cdot 10^8$ Гц, длительность $15 \cdot 10^{-8}$ с., период повторения - $7.5 \cdot 10^{-7}$ Гц.

$$S_{\omega_n} = \frac{\tau}{T} \cdot \frac{\sin\left[\frac{(\omega_n - \omega_0) \cdot \tau}{2}\right]}{\left[\frac{(\omega_n - \omega_0) \cdot \tau}{2}\right]} \cdot \exp\left(i \cdot \omega_n \cdot \frac{\tau}{2}\right) \tag{2}$$

$$E_n\left(\frac{D}{2}, \omega_n\right) = S_{\omega_n} \cdot E(0) \cdot \exp\left(-i \cdot \int_0^D k(z', \omega_n) \frac{1 - R(z', \omega_n)}{1 + R(z', \omega_n)}\right) \tag{3}$$

$$En_{12}(1, \omega_n) = \begin{cases} S_{\omega_n} \cdot E(0) \cdot \exp\left(-i \cdot \int_0^D k(z', \omega_n) \frac{1 - R(z', \omega_n)}{1 + R(z', \omega_n)}\right) \\ E_n\left(\frac{D}{2}, \omega_n\right) \exp\left(-i \cdot S_{\omega_n} \cdot \int_{\frac{D}{2}}^z k(z', \omega_n) \frac{1 - R(z', \omega_n)}{1 + R(z', \omega_n)}\right) \end{cases} \tag{4}$$

$E(0) = E0 \cdot (1 + R(0))$ – общее поле до неоднородной среды.

Где En_{12} – это значение напряженности поля в неоднородной среде для каждой частотной компоненты дискретного комплексного спектра периодической последовательности радиоимпульсов. Фазовый спектр, вычисленный по вышеизложенному методу для радиоимпульса, прошедшего через неоднородную среду, показан на рис. 1.

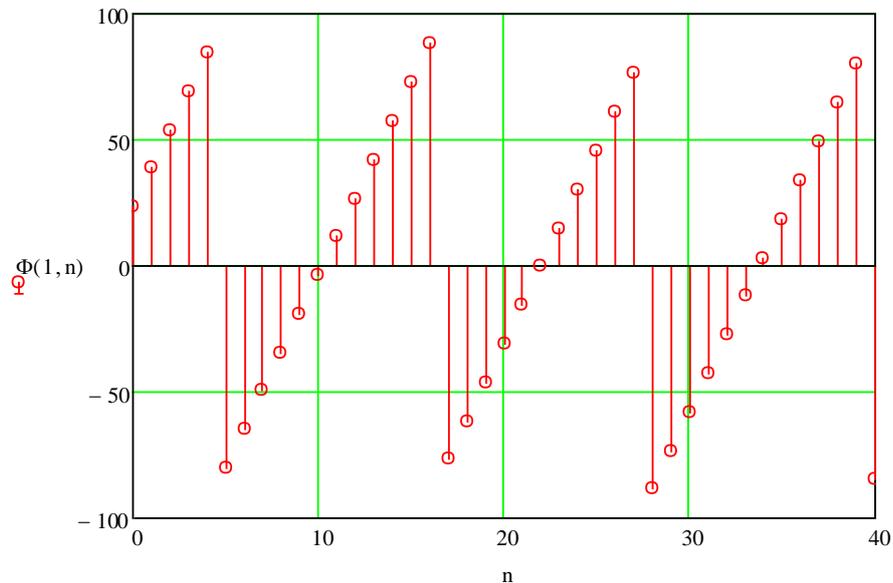


Рис. 1- Фазовый спектр радиоимпульса

По данному графику видно, что компоненты спектра радиолокационного получают дополнительный фазовый сдвиг.

Методы ВКБ является приближением геометрической оптики и не дает точное решение при выполнении следующего условия:

$$\frac{d\lambda}{dn} \ll 1 \tag{5}$$

Однако он часто используется, поэтому для сравнения выберем его.

Электromагнитное поле плоской монохроматической волны, распространяющейся в неоднородной среде с магнитной проницаемостью равной 1, по методу ВКБ вычисляется по следующей формуле:

$$E(z) = E(0)\sqrt{W(z)}\exp\left(-i \cdot k \int_0^z \frac{1}{W(z')} dz'\right) \quad (6)$$

где z' – переменная интегрирования, z – это координата точки неоднородной среды в которой вычисляется поле электромагнитной волны (может быть равной толщине слоя неоднородной среды), $W(z)$ – волновое сопротивление среды. Фазовый спектр, вычисленный по методу ВКБ для радиоимпульса, прошедшего через неоднородную среду, показан на рис. 2.

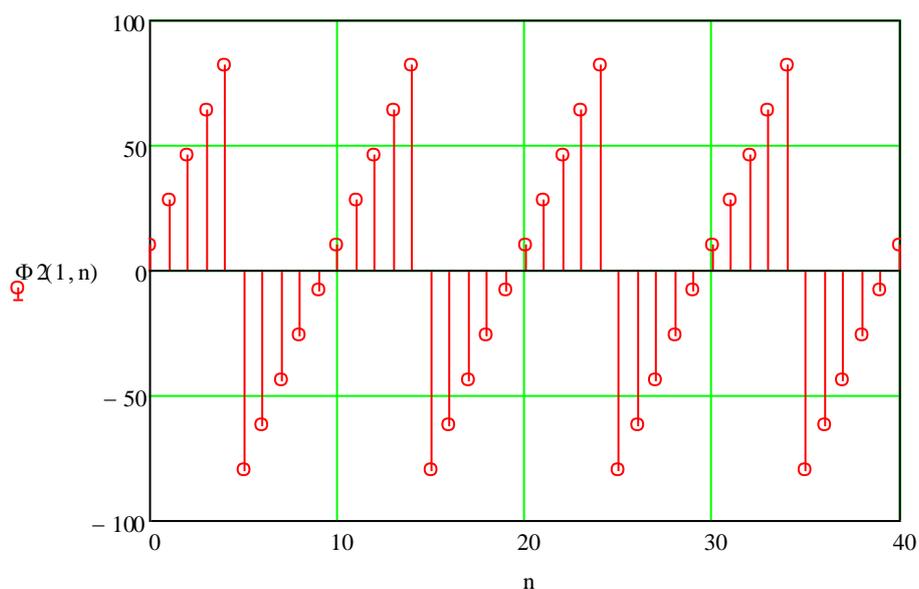


Рис. 2- Фазовый спектр радиоимпульса

Чтобы сравнить изменения фазовых спектров, для радиоимпульса, вычисленного разными методами, вычтем компоненты фазового спектра из компонент фазового спектра: $\Delta\Phi = \Phi1(f(n)) - \Phi2(f(n))$ (7).

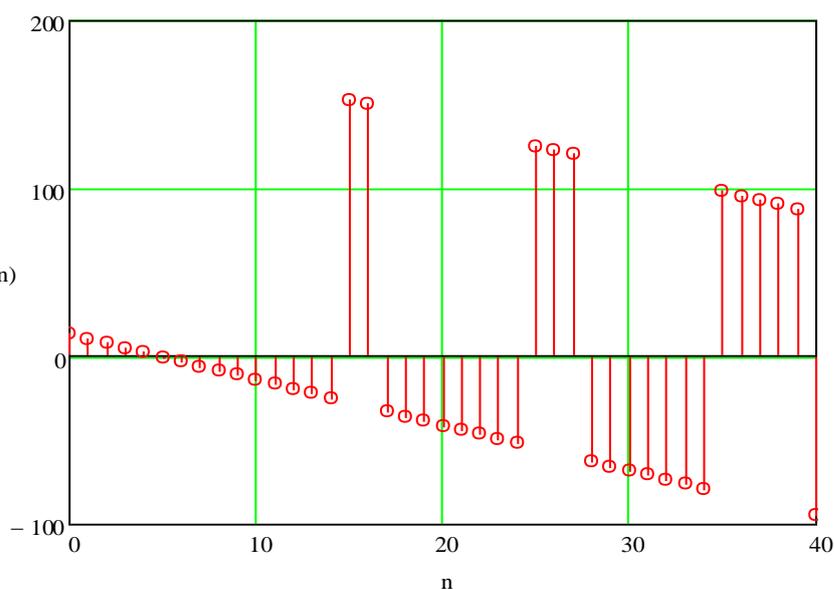


Рис. 3- Различие двух фазовых спектров

Выводы

Из рисунка 2 видно, что во втором случае вычисления методом ВКБ фазовый сдвиг получается одинаковым для всех частот, так как волновое сопротивление заданной неоднородной среды не зависит от частоты.

Из рисунка 3 можно заключить, что спектр радиолокационного радиоимпульса, прошедшего через неоднородную среду, вычисленный оригинальным методом, предложенным в данной статье, получает дополнительный фазовый сдвиг, который имеет линейный закон изменения в зависимости от частоты. Вследствие изменения фазового спектра происходит изменение формы радиолокационного радиоимпульса, что ведет к потребности в изменении устройств приема радиосигналов для более оптимальной обработки сигналов.

Список литературы.

1. *Dautov O.Sh.* Environ. Radioecol. Appl. Ecol. // 2007, Vol. 13, № 1, pp. 16-29
2. *Dautov O.Sh.* International Conference on Antenna Theory and Techniques // 2017, Kyiv, Ukraine, pp. 1-4.
3. *Гинзбург В.Л.*, Распространение электромагнитных волн в плазме, монография. 2-е изд., переработанное. Изд-ва «Наука», 1967.

05.13.18

Е.Н. Минаев д-р техн. наук

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
физико-технический факультет,
кафедра физики,
Саратов emin@sstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМОДЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Моделирование проведено на основе решения дифференциального уравнения конвективной диффузии при ламинарном плоскопараллельном течении жидкости. Показано, что двучленное выражение для параболического профиля скорости может быть заменено одночленным выражением. Это позволило найти автомодельное решение. Получены формулы для расчёта концентрации растворённого в воде кислорода и плотности потока кислорода на границе раздела фаз. Представлены результаты численного исследования толщины диффузионного слоя.

Ключевые слова: *математическое моделирование; конвективная диффузия, дифференциальное уравнение.*

При эксплуатации химико – технологического и энергетического оборудования, использующего в качестве теплоносителя жидкие среды, для соблюдения технологических режимов работы, в частности защиты оборудования от коррозии, большое значение имеет расчёт распределения концентрации растворённого молекулярного кислорода внутри различного рода каналов и трубопроводов. Расчёт основан на решении дифференциального уравнения стационарной конвективной диффузии. В данной работе рассматривается плоскопараллельное слоистое (ламинарное) течение жидкости с параболическим профилем скорости поперёк канала (течение Пуазейля).

Для цилиндрических каналов задача была решена Гретцем [1]. Решение получено методом разделения переменных и представлено в виде разложения в ряд Фурье – Бесселя. К недостаткам решения следует отнести необходимость удерживать достаточно большое число членов ряда при расчёте и вычислять специальную функцию Бесселя при вычислении каждого члена ряда.

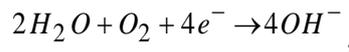
В работе [2] применительно к расчёту конвективной теплопроводности приводится решение, основанное на замене переменных. Однако, полученное решение не может быть использовано на начальном участке канала, что снижает его практическое значение.

В данной работе двучленная формула параболического профиля скорости аппроксимирована одночленным выражением, после чего уравнение решено на основе использования теории автомодельных решений. Полученное решение позволяет проводить расчет на любом участке канала, в том числе – и на начальном.

Рассмотрим канал, образованный двумя плоскопараллельными пластинами. Введём безразмерные переменные: концентрацию растворённого кислорода $C = \bar{C}/C_0$; поперечную координату $y = \bar{y}/L_y$ и продольную координату $x = \bar{x}/L_x$. Здесь буквами с верхней чертой обозначены размерные величины, C_0 – постоянная поперёк канала концентрация кислорода на входе в канал, L_y – половина ширины канала, а L_x – характерный продольный размер. Расположим начало координат на поверхности одной из стенок таким образом, что ось y направлена от неё вглубь жидкости в сторону плоскости симметрии канала. Учитывая симметричность задачи, будем рассматривать половину сечения канала $0 < y < 1$.

Поскольку начало координат расположено на стенке, профиль проекции скорости V_x поперёк канала имеет вид $V_x = b'(2y - y^2)$, где b' – скорость на плоскости симметрии. С погрешность в 3% результаты расчёта по этой формуле могут быть аппроксимированы выражением $V_x = 1.15 b' y^{2/3}$.

На входе в канал концентрация кислорода постоянна поперёк сечения и имеет значение C_0 , то есть, выполняется граничное условие $C(0, y) = 1$. Пусть на границе стенки и жидкости происходит полное поглощение кислорода. Такое условие выполняется, например, при катодной защите внутренней поверхности металлического канала от коррозии, за счёт электрохимического восстановления кислорода по реакции [3],



при условии протекания реакции в режиме предельного диффузионного тока [4]. Тогда можно записать граничное условие $C(x, 0) = 0$.

Запишем краевую задачу для определения концентрации растворённого кислорода $C(x, y)$

$$\begin{aligned} \text{Pe} \cdot y^{2/3} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} &= \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}, & 0 < y < 1, & \quad 0 < x < \infty & (1) \\ C(0, y) &= 1, \\ C(x, 0) &= 0, \end{aligned}$$

$$\text{Pe} = \frac{b L_y^2}{D L_x}$$

где: Pe – безразмерный диффузионные критерий подобия Пекле; D – коэффициент диффузии кислорода; $b = 1.15 b'$.

Как известно [5], процесс называется автомодельным, если описывающее его дифференциальное уравнение инвариантно к растяжению (сжатию) переменных x, y, C .

Введём новые безразмерные переменные x^*, y^*, C^* по правилу

$$x = P x^*, \quad y = P^k y^*, \quad C = P^m C^*,$$

где $P > 0$ – произвольная константа.

В новых переменных дифференциальное уравнение будет иметь вид

$$\text{Pe} P^{m-1+\frac{2}{3}k} (y^*)^{2/3} \frac{\partial C^*}{\partial x^*} = P^{m-2k} \frac{\partial^2 C^*}{\partial (y^*)^2}$$

Не трудно заметить, что при $k = 3/8, m = 0$ уравнение в новых переменных имеет такой же вид, как и уравнение (1), следовательно, уравнение (1) описывает автомодельный процесс. В этом случае можно ввести новую безразмерную переменную

$$\eta = \left(\frac{3}{8}\right)^{3/4} \text{Pe}^{3/8} \left(\frac{y}{x^{3/8}}\right)$$

Тогда исходное дифференциальное уравнение в частных производных (1) преобразуется в обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\begin{aligned} \frac{d^2 C}{d\eta^2} + \frac{8}{3} \eta^{5/3} \frac{dC}{d\eta} &= 0 \\ C &= 1 \quad \text{при} \quad \eta = \infty, \\ C &= 0 \quad \text{при} \quad \eta = 0. \end{aligned}$$

Решение уравнения имеет вид

$$C(x, y) = A \int_0^{\eta} e^{-\tau^{8/3}} d\tau + B$$

где A и B – неопределённые константы интегрирования. С учётом граничного условия при $\eta=0$, определим $B=0$. Используя граничное условие при $\eta=\infty$, найдём константу A

$$A = \left(\int_0^{\infty} e^{-\tau^{8/3}} d\tau \right)^{-1} = \frac{8}{3\Gamma(3/8)}$$

В этом выражении $\Gamma(3/8)$ есть гамма-функция [6]. Подставив A и B , получим решение в окончательном виде

$$C(x, y) = \frac{8}{3\Gamma(3/8)} \int_0^{\eta} e^{-\tau^{8/3}} d\tau \quad (3)$$

Локальная плотность потока кислорода к поверхности рассчитывается по формуле

$$j_m(x) = \left(\frac{8}{3}\right)^{1/4} \frac{1}{\Gamma(3/8)} \frac{DC_0}{L_y} \text{Pe}^{3/8} \frac{1}{x^{3/8}}$$

Формула (2) позволяет рассчитать распределение концентрации кислорода внутри канала и получить зависимость толщины диффузионного слоя от продольной координаты.

С точки зрения процесса конвективной диффузии, будем понимать под ядром потока область, где перенос осуществляется только конвекцией и, следовательно, концентрация кислорода в этой области всюду равна C_0 . Под диффузионным слоем будем понимать приграничную область, где перенос происходит как за счёт конвекции, так и за счёт диффузии. В этой области концентрация вдоль координаты y изменяется от нуля на стенке канала до $C=1$ при некотором значении $y=\delta_d$, и при дальнейшем увеличении координаты концентрация перестаёт изменяться. Величина δ_d является толщиной диффузионного слоя. Проводился расчёт при следующих исходных данных

Таблица 1– Исходные данные расчёта

D , [м ² /с]	b' , [м/с]	L_x , [м]	L_y , [м]	Pe
$2.5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-2}$	1	$1 \cdot 10^{-2}$	400

Результаты представлены в таблице 2. Они могут быть аппроксимированы по формуле $\delta_d = 0.33x^{0.36}$

Таблица 2– Изменение толщины диффузионного слоя

x	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ_d	0.251	0.350	0.452	0.497	0.552	0.601	0.649	0.711	0.720	0.751	0.755

Список литературы

1. Ньюмен Дж. Электрохимические системы / Дж. Ньюмен. Под ред. Ю.А. Чизмадзева. – М.: Мир, 1977. – 463 с.
2. Минаев Е.Н., Цыпин Д.В. и др. Математическое моделирование конвективной теплопроводности при слоистом течении жидкости в каналах теплообменного оборудования / Научно-технический вестник Поволжья, № 6, 2018, С.141-144
3. Скорчеллетти В.В. Теоретические основы коррозии металлов / В.В. Скорчеллетти. – Л.: Химия, 1973. – 264 с.
4. Бекман В. Катодная защита от коррозии / В. Бекман, В. Швенк. — М.: Metallurgiya, 1984. — 381с.
5. Полянин А.Д. Методы решения нелинейных уравнений математической физики и механики : учебное пособие / А. Д. Полянин, В. Ф. Зайцев, А. И. Журов. – М.: Физмалит, 2005. – 254 с.
6. Янке Е. Специальные функции. Формулы, графики, таблицы / Е. Янке Ф. Эмде, Ф. Леш. – М.: Наука, 1977. – 641с.

05.13.18

¹В.А. Молчанова канд. техн. наук, ¹Е.Б. Думлер канд. техн. наук,
²Р.И. Вахитова канд. техн. наук, ³И.К. Киямов д-р экон. наук,
³Л.С. Сабитов канд. техн. наук

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
горно-нефтяной факультет,
кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов,
Уфа, dumler08@mail.ru,

²Альметьевский государственный нефтяной институт,
энергомеханический факультет,
кафедра «Электро- и теплоэнергетика»,
Альметьевск, roza-w@mail.ru,

³Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра «Биомедицинская инженерия и управление инновациями»,
Казань, kiyamov.ilgam@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАЧИ РЕАГЕНТОВ

В статье решается проблема повышения эффективности и надежности работы дозирующего устройства путем очистки подаваемого химического реагента от мехпримесей через фильтрующее устройство тонкой очистки. Предложена конструкция фильтрующее устройство тонкой очистки в составе скважинной дозирующей установки. Проведены расчеты и моделирование геометрии фильтра и модели фильтра в нагруженном состоянии.

Ключевые слова: *фильтрующее устройство, скважинная дозирующая установка, химический реагент.*

Введение. В процессе эксплуатации в дозирующих насосах наблюдается тенденция снижения или прекращения подачи дозируемого вещества. Одной из основных причин такого отказа является загрязнение дозируемой жидкости, вызванное засорением рабочей кромки седла клапана. Для решения этой проблемы необходимо установить фильтрующее устройство.

Проанализированы неисправности во время эксплуатации установок дозирующих устройств на Самотлорском месторождении [1]. Практический опыт применения различных типов дозирующих устройств определил следующие направления совершенствования и проектирования конструкций: очистка химических реагентов от мехпримесей при подаче в устьевой скважинный дозатор и повышение пропускной способности подачи реагента.

Исследования. В статье объектом исследования является скважинная установка дозирования реагента (СУДР), предназначенная для регулируемой подачи реагентов (для снижения асфальтосмолистых и парафинистых и солеотложений, деэмульгаторов, ингибиторов коррозии, регуляторов вязкости и гидратообразований, поглотителей кислорода) в нефтепровод или в скважину [2,3].

В ходе работы установок был выявлен ряд существенных причин снижения работоспособности дозаторов: загрязнение дозируемой жидкости и кавитационные процессы в насосной камере.

Эти причины обусловлены недостаточной пропускной способностью подачи и нагнетания реагентов из-за высокой вязкости применяемых химических реагентов; недостаточной степенью очистки реагентов от механических примесей [1].

Для повышения эффективности работы СУДР предлагается: установить на горловину бака фильтр тонкой очистки [4]; произвести замену исходных труб на трубы с повышенной пропускной способностью; осуществить скругление трубки слива дозатора; увеличить диаметр дренажного крана слива; подачу реагента на прием насоса в скважине осуществить с помощью специального погружного капиллярного устройства (СКПУ) [5].

Для усовершенствованной конструкции дозирующего устройства произвели оценку необходимого напора, коэффициента гидравлического трения, расход жидкости, потерь напора в запорных устройствах, прочности конструкции фильтра тонкой очистки и напряжений, возникающих в процессе его эксплуатации. Расчетным путем определили режим движения жидкости и коэффициент гидравлического трения.

При изменении диаметра трубок увеличивается расход химического реагента, снижается гидравлическое трение, не значительно понижается напор, следовательно, режим подачи реагента в скважину при совершенствовании установки сохраняется.

В программном комплексе ANSYS Mechanical 14,5 смоделирована геометрия фильтра (рис.1).

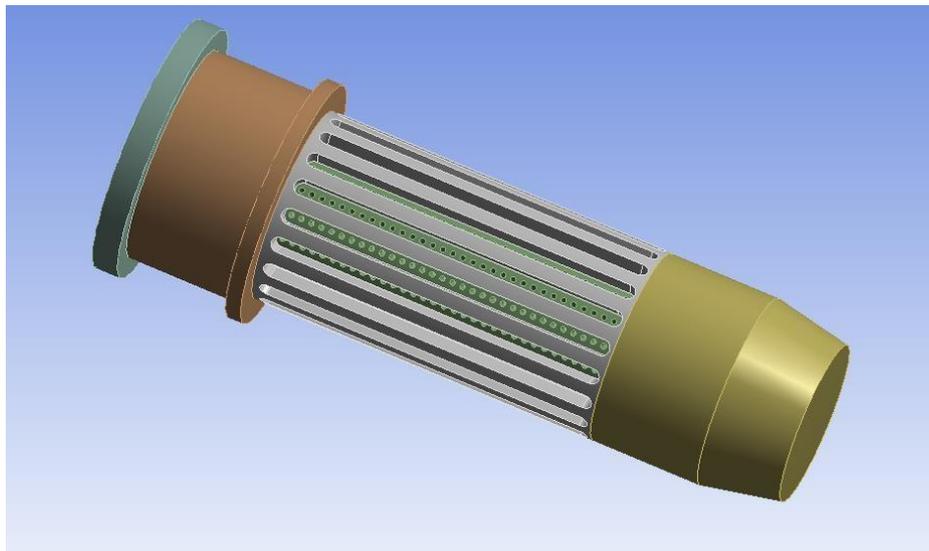


Рис. 1 – Геометрия фильтра

Методом конечных элементов произведены прочностные расчеты. Приняли, что на расчетную модель действует рабочее давление среды. Выбор типа, формы и размера конечного элемента зависит от вида и формы напряженно-деформированного состояния тела. В результате смоделирована конечно-элементная модель фильтра тонкой очистки (рис. 2).

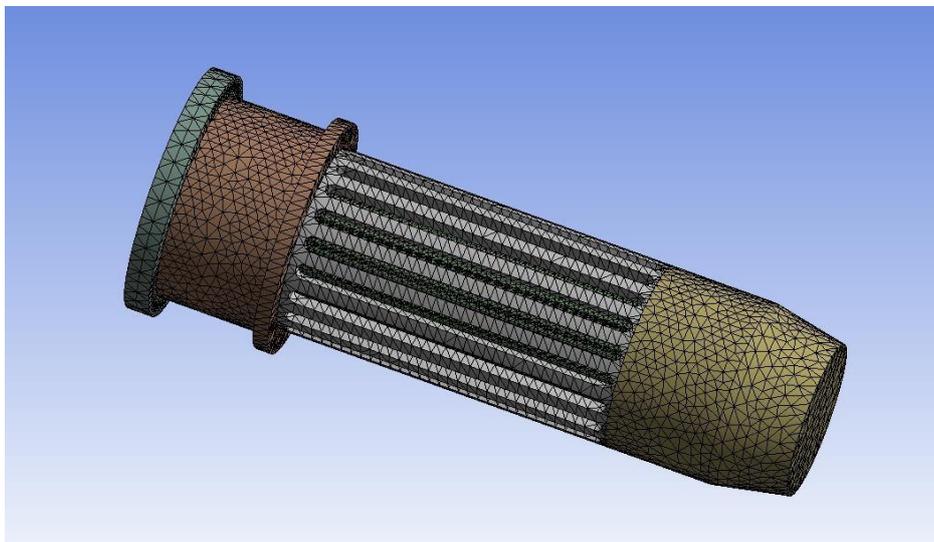


Рис. 2 – Конечно-элементная модель фильтра

Для моделирования одноосного напряженного состояния при растяжении (сжатии), а также в задачах о кручении или изгибе применили стержневой конечный элемент (рис.3).

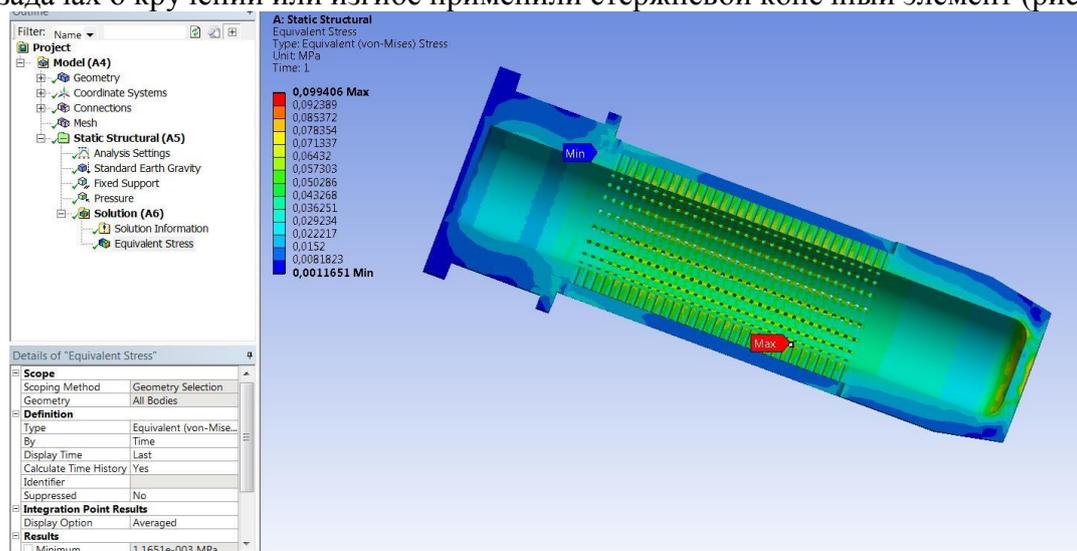


Рис.3 – Напряженно-деформированное состояние модели фильтра

Модель фильтра в нагруженном состоянии представлена на рисунке 4, где А – стандартная сила тяжести; В – фиксация модели; С – давление среды $P = 0,012$ МПа; F – вес химреагента во внутренней полости фильтра; S – площадь сечения внутренней полости фильтра.

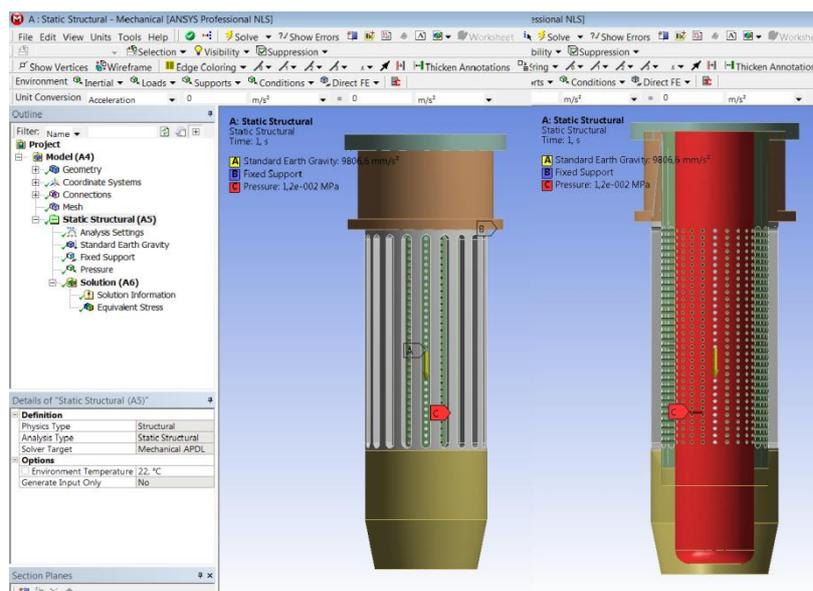


Рис. 4 – Модель фильтра в нагруженном состоянии

Результаты. По результатам расчета фильтра определено что, максимальные напряжения, возникающие в узле, равны 0,09 МПа и не превышают предельно допустимые значения. Выбранные параметры и материал фильтра обеспечивают прочность и работоспособность. Расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Mechanical 14.5 показал, что максимальные напряжения, возникающие в фильтре, составляют 0,09 МПа и не превышают предельно допустимые напряжения.

Промышленные испытания фильтра тонкой очистки дали следующие результаты: вынос мехпримесей сократился в 3 раза (с 140 мг/л до 48 мг/л) при неизменном среднесуточном дебите скважины; достигнута возможность многократного использования фильтров после промывки, при этом наработка на отказ насоса увеличилась до 100 суток, а наработка скважин – до 500 суток.

Выводы. Внедрение технологии адресного дозирования, скважину с применением специальных погружных капиллярных устройств, позволило в условиях НГДУ в 1,3–1,5 раза снизить удельный расход химреагентов, более чем в 8 раз сократить число подземных ремонтов, термических и химобработок. Проведенные мероприятия по усовершенствованию СУДР позволят увеличить межремонтный период работы установки и обеспечить бесперебойную работу.

Список литературы

1. Официальный сайт АО «Самотлорнефтегаз» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [http: www.samotlor.rosneft.ru](http://www.samotlor.rosneft.ru). (дата обращения: 01.03.2020)
2. Блок дозирования реагента типа БДР. БДР-В-1-2-2НДР10/100-1/2,5-Б-П-Ц ПО-57.01 [Текст]: Руководство по эксплуатации: разработчик и изготовитель Давлекановский 3-д нефтяного машиностроения.
3. Скважинная установка дозирования реагента. СУДР ПО-1.11. [Текст]: Руководство по эксплуатации: разработчик и изготовитель Давлекановский 3-д нефтяного машиностроения.
4. Патент РФ №2007113618/22, 12.04.2007. Глухов А.Н., Мелешко Г.К., Уразаков К.Р. [и др.]. Скважинный фильтр тонкой очистки // Патент РФ №66414. 10.09.2007.
5. Патент РФ №2004114932/03, 17.05.04. Сафонов Е.Н., Гарифуллин Ф.С., Акшенцев В.Г. Способ подачи реагента в скважину // Патент РФ №2302513.10.07.2007. Бюл. №19.

05.13.18

¹К.Р. Уразаков д-р техн. наук, ¹Е.Б. Думлер канд. техн. наук,
²Р.И. Вахитова канд. техн. наук, ³И.К. Киямов д-р экон. наук,
³Л.С. Сабитов канд. техн. наук

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
горно-нефтяной факультет,
кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов,
Уфа, dumler08@mail.ru,

²Альметьевский государственный нефтяной институт,
энергомеханический факультет,
кафедра «Электро- и теплоэнергетика»,
Альметьевск, roza-w@mail.ru,

³Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра «Биомедицинская инженерия и управление инновациями»,
Казань, kiyamov.ilgam@mail.ru

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕПРОВОДАХ

В статье решается проблема снижения интенсификации процессов коррозии в нефтепроводной сети. Отмечены причины возникновения коррозии и предложены способы решения этой задачи. Предложена конструкция внутритрубного спирального турбулизатора потока с расчетом основных параметров. Проведены расчеты и моделирование поведения потока жидкости в канале внутритрубного спирального турбулизатора.

Ключевые слова: *спирального турбулизатора потока, ручейковая коррозия, нефтепроводная сеть*

Введение. Трубопроводы нефтяных промыслов в процессе эксплуатации подвержены интенсивному воздействию коррозионных процессов. Одним из наиболее опасных видов является ручейковая (канавочная) коррозия, возникающая вследствие ламинарного движения нефтесодержащей среды, которое характеризуется расслоением нефти и воды вследствие разности плотностей [1].

Для защиты нефтепроводов от внутренней коррозии, как правило, применяют ингибиторы и коррозионностойкие покрытия, которые не всегда являются эффективными.

Одним из способов снижения интенсивности коррозионного воздействия является предотвращение возникновения ламинарного режима движения потока путем установки устройства, создающего турбулентность.

Предложена модель турбулизатора потока и обоснована эффективность его применения на участках нефтегазосборных линий, где вероятно установление ламинарного течения потока.

Исследования. Основным рабочим элементом для тщательного смешивания потока в турбулизаторе являются пластины, которые создают высокие местные сопротивления. Для решения этой проблемы пластины смесителя заменены на спираль, расположенной по всей длине канала. За счет этого поток получил возможность гладко и спокойно протекать через турбулизатор и одновременно при этом завихряться, перемешивать нижние и верхние слои потока.

Расчеты течения потока внутри турбулизатора проводились в программном комплексе ANSYS CFX [2].

Длину спирали турбулизатора можно определить расчетным путем. Для снижения местных сопротивлений высоту спирали принимают равной 15% от внутреннего диаметра трубопровода.

В программном комплексе были проведены проектировочные и проверочные расчеты на прочность деталей турбулизатора при давлении потока в нефтегазосборной сети равном 1,6 МПа и материале турбулизатора – коррозионностойкая нержавеющая сталь 08Х18Н10Т.

Расчет деформации и напряжения детали турбулизатора под влиянием нефтяного потока смоделирован и показан на рисунке 1.

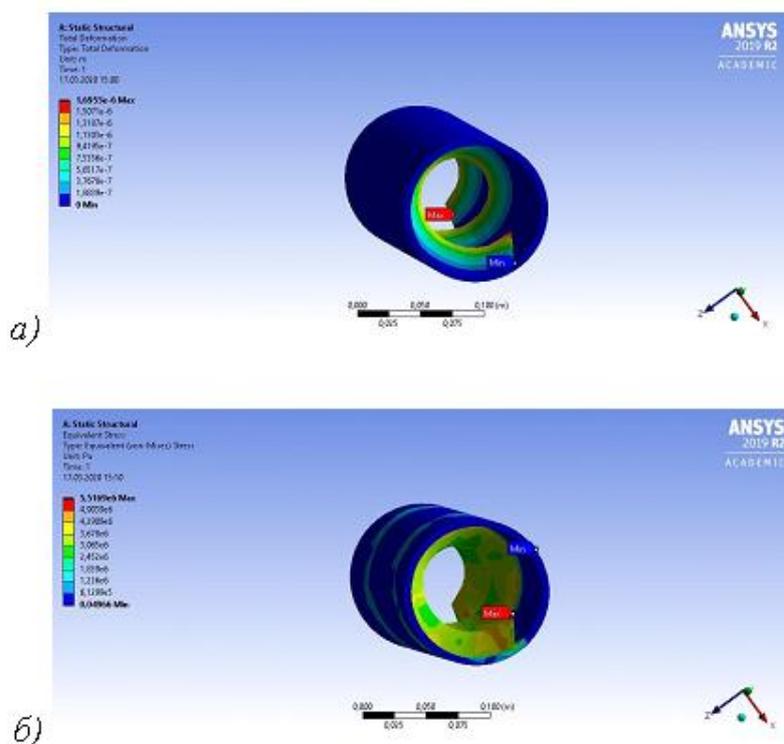


Рис. 1 – Расчет детали турбулизатора в ANSYS:

- а) деформации внутритрубного спирального турбулизатора потока
- б) напряжения внутритрубного спирального турбулизатора потока

Процесс моделирования в программном комплексе *ANSYS CFX* включает в себя следующие этапы [3,4]:

1. Графическое построение 3D модели внутреннего канала турбулизатора на основе заданных геометрических параметров.
2. Заполнение расчётной области ячейками сетки.
3. Определение на расчётной сетке начальных и граничных условий и подбор физических моделей и допущений.
4. Численное моделирование.
5. Обработка и анализ полученных результатов и наглядная визуализация полей расчётных параметров.

Исследовали движение неоднородного потока внутри проточной части спирального турбулизатора. Для расчётной сетки определили: размер ячейки 2 мм, семь пограничных слоёв с толщиной 1 мм.

После создания сетки настраиваются параметры физической и математической модели: стационарный расчёт, модель турбулентности *k-ε*, изотермическая задача, отсутствие взаимодействия частиц в потоке.

Параметры непрерывной фазы (вода): вязкость – 0,001004 Па·с; плотность – 997 кг/м³. Параметры непрерывной фазы (нефть): вязкость – 0,03 Па·с; плотность – 850 кг/м³. Граничные условия: статическое давление на выходе (изб.) – 1,6 МПа; скорость потока на входе – 1 м/с; соотношение объёма фаз в проточном канале: нефть – 50%, вода – 50%.

Результаты. Произвели визуализацию полей расчётных параметров (рис. 2). За счёт действия центробежных сил вода, как более плотная среда стремиться на периферию проточного канала. За спиралью турбулизатора образуются зоны циркуляции, и менее плотная нефть завихряется. На рисунке 2, б) отчётливо просматриваются завихрения в области спирали, проходящие вдоль стенок проточного канала.

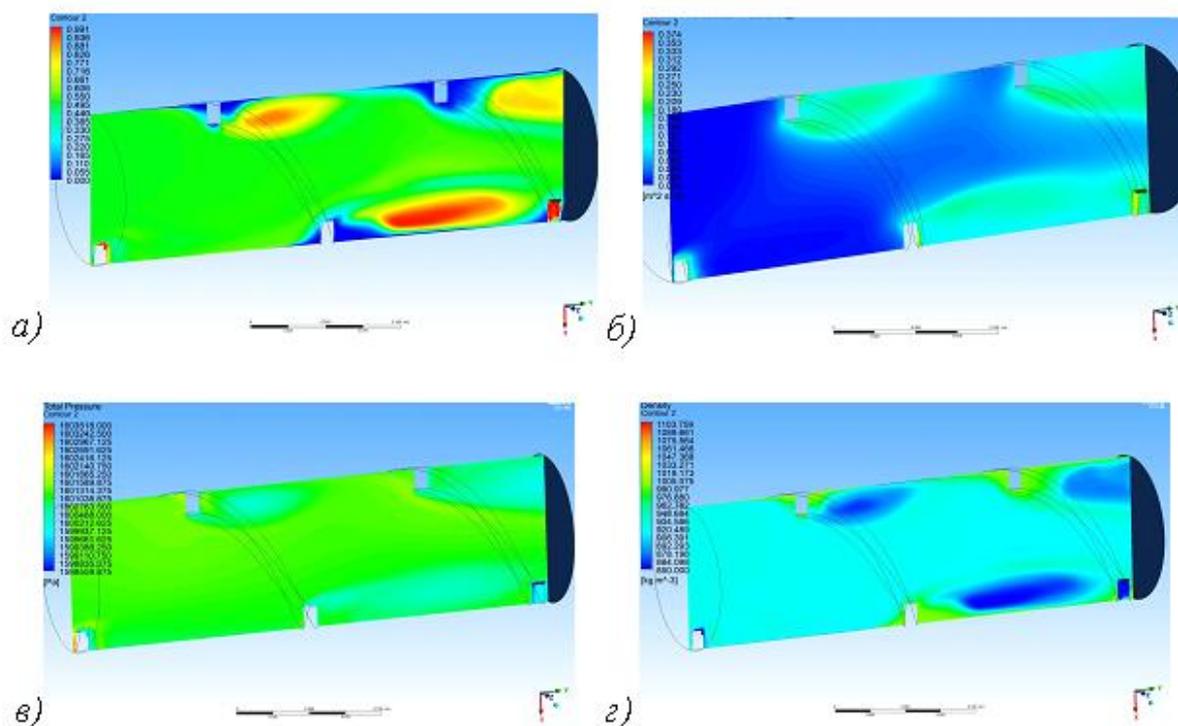


Рис. 2 – Визуализация полей расчётных параметров в канале турбулизатора:
а) объёмной доли жидкости; б) кинетической энергии турбулентности;
в) давления; г) плотности жидкости

Произведено исследование движения неоднородной среды в проточной части струйного турбулизатора. Анализ полученных результатов исследования позволяет сделать вывод: вычисления математического пакета близки к теоретическим расчётам.

Для визуальной проверки граничных условий на входе и выходе турбулизатора (распределение скоростей потоков жидкости на входе, и зоны обратных токов на выходе) проточная часть была удлинена (рис. 3).

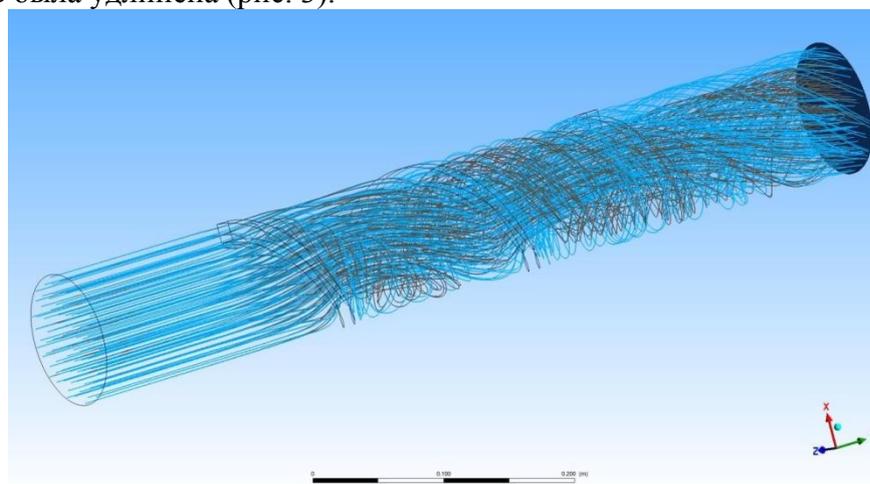


Рис. 3 – Общий вид распределения скоростей течения жидкостей в расчётной области: синие линии – вода; коричневые линии - нефть

На входе добавлен участок длиной 150 мм, на выходе – 200 мм. На рисунке 3 отображен общий вид потока нефтяной эмульсии в канале внутритрубного спирального турбулизатора.

Выводы. На основе анализа недостатков известных турбулизаторов потока предложена модель турбулизатора.

По расчетам в ANSYS основные детали спирального турбулизатора имеют высокие показатели прочности и надежности, при коррозионностойком исполнении и полученных величинах толщины и длины. Моделированием поведения потока обводненной нефтяной эмульсии в программе ANSYS CFX визуально определено наличие завихрений в потоке нефтяной среды, проходящем через турбулизатор.

Список литературы

1. Сатыбалдина С.Д. Защита от коррозии нефтепромыслового оборудования / С.Д. Сатыбалдина, Г.К. Муратова // Новое слово в науке: перспективы развития. – Чебоксары, 2014. N1. С.237-238.
2. Лобанов И.Е. Математическое моделирование динамики развития вихревых структур в трубах с турбулизатором / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2014. N38. С.16-31.
3. Ханов Д.Ф. Турбулизатор потока для эффективной борьбы с коррозией трубопровода / Д.Ф. Ханов // Современные технологии в нефтегазовом деле: сборник трудов международной научно-технической конференции – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – С. 123-125.
4. Ханов Д.Ф. Внутритрубный спиральный турбулизатора потока / Д.Ф. Ханов, К.Р. Уразаков // 47-я Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием: сборник трудов конференции – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020.

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

05.13.19

А.А. Кочешков канд. техн. наук, Д.А. Сенькив

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт Радиоэлектроники и Информационных Технологий,
Кафедра «Вычислительные системы и технологии»,
Нижний Новгород, kocheshkov@nntu.ru, senkiv152@mail.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПУБЛИЧНЫХ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ

В работе представлены анализ и меры обеспечения кибербезопасности публичных облачных сервисов – системы виртуальных серверов, позволяющих пользователям получать возможность хранить файлы, размещать приложения, использовать операционную систему. Приведенные меры являются универсальными для большинства спроектированных компьютерных сетей. Целью работы является улучшение защиты системы от потенциальных кибератак.

Ключевые слова: *информационная безопасности, виртуальный сервер, облачный сервис, предотвращение кибератак.*

Проблема обеспечения информационной безопасности (ИБ) возникает при начале проектирования каждого нового облачного сервиса, является актуальной в общемировой практике. Для ее решения повсеместно ведется разработка новых методов диагностирования и сканирования разрабатываемого программного обеспечения (ПО) на наличие уязвимостей, в частности вопросам измерения, контроля, обеспечения надежности и качества программного кода и безопасности сетевой инфраструктуры уделено множество работ В. В. Бондарева, Gregory Vouce, Бирюкова А. А.

Обзор литературных источников позволяет сделать вывод о частном характере существующих методов и алгоритмов обеспечения ИБ, т.е. их разработка и переработка происходит заново для каждого программного комплекса.

В данной работе будут сформулированы меры обеспечения ИБ публичных облачных сервисов для увеличения уровня защищенности информации в данных сервисах. Идеи, изложенные в работе, можно применять в большинстве компьютерных сетей.

Публичный облачный сервис (ПОС) – аппаратно-программный комплекс, который предоставляет своим пользователям возможности:

- создания виртуальных машин с предустановленными операционными системами (модель предоставления облачных вычислений IaaS);
- веб-хостинга (shared хостинг);
- использования файлового хранилища и архивации;
- размещения собственных приложений (серверной и/или клиентской части, модель предоставления облачных вычислений PaaS).

Понятие «облачный сервис» предполагает возможность доступа через сеть Интернет, как минимум, на основе стандартных механизмов, что обеспечивает использование разнородных клиентских платформ (например, мобильных телефонов, ноутбуков, КПК) для доступа к данным сервисам.

Обеспечение ИБ включает в себя несколько этапов:

1. Постановка цели обеспечения информационной безопасности – для чего нужны применяемые меры. Исходя из целей и выполняемых задач на публичном облачном сервисе, будут разработаны различные меры и степени защиты [1]. В ходе данного этапа выполняется построение концептуальной модели ИБ.

2. Аудит текущей системы. Независимая оценка текущего состояния системы информационной безопасности устанавливает уровень ее соответствия определенным критериям, и предоставляет результаты в виде рекомендаций. Аудит проводится одним или несколькими специалистами с использованием различного ПО, направленного на поиск уязвимых мест системы – сканеры программного обеспечения, программы для обхода киберзащиты, анализ установленного программного обеспечения и поиск уязвимостей в нем.

3. После проведения аудита происходит устранение найденных уязвимостей и проблемных мест системы. Достижение конечного результата происходит благодаря грамотному конфигурированию программного обеспечения, используемого в ПОС, установке специализированного ПО, обновлению текущего программного инструментария.

4. После применения рекомендаций первичного аудита и устранения проблем производится повторный аудит безопасности. Если полученные результаты удовлетворяют поставленным целям обеспечения ИБ – работа выполнена успешно, далее аудит будет производиться с определенной периодичностью для сохранения статуса ПОС. Если полученный результат ниже ожидаемого – производится повторная попытка устранить недостатки и запускается повторный аудит.

Типовой ПОС выглядит следующим образом (рис. 1):

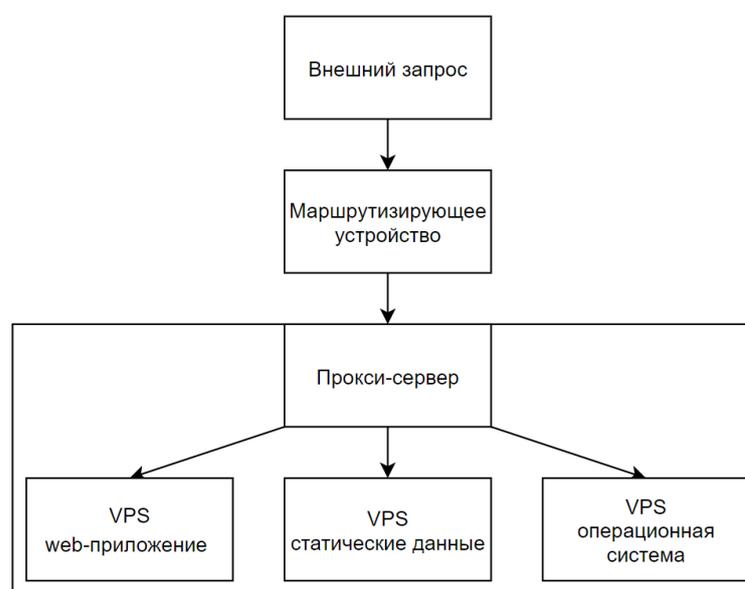


Рис. 1 - Схема публичного облачного сервиса

При обращении к сайту, сервису через адресную строку веб-браузера, консоль или специализированное программное обеспечение выполняется запрос к ПОС. Запрос проходит через маршрутизирующее устройство (МУ). Если ПОС находится внутри сети предприятия или в домашней сети, то администратор имеет доступ к МУ и может сконфигурировать устройство, задать определенные правила, которые позволят блокировать вредоносные запросы на сетевом уровне.

Обычно решения подобного уровня размещаются в дата-центрах или у поставщиков облачных услуг. В этом случае конфигурирование МУ становится недоступным.

Нижний прямоугольник, включающий в себя несколько других прямоугольников (рис. 1), является физическим сервером и управляется с помощью операционной системы с гипервизором. Элементы схемы, которые находятся внутри ОС с гипервизором, являются виртуальными машинами, которые могут использовать пользователи (VPS).

В большинстве случаев, первым устройством, которое необходимо улучшить с точки зрения обеспечения информационной безопасности, является прокси-сервер. Прокси-сервер рекомендуется использовать в качестве обратного прокси-сервера, преимущества решения:

- единая точка для управления настройками доступа к виртуальным машинам;
- увеличение производительности ПОС с помощью кэширования статического и динамического содержания, взаимодействия с SSL-трафиком только между клиентом и прокси-сервером, сжатия исходящего трафика [2];
- скрытие топологии сети от внешнего мира.

Однако, у использования прокси-сервера есть недостаток – единая точка управления одновременно является единой точкой отказа, при нарушении целостности прокси-сервера, весь трафик может быть перехвачен и скомпрометирован [3].

Уменьшить количество вредоносных запросов, которые могут проникнуть во внутреннюю инфраструктуру, можно с помощью использования специализированного ПО для выявления и блокировки современных атак на приложения. Таким ПО является WAF (Web Application Firewall).

Следующим элементом защиты являются VM, используемые пользователями. Для защиты VM, предоставляющих услуги PaaS, используют анализаторы уязвимостей в установленных вспомогательных средствах разработки (библиотеках). Подобные системы основываются на базах данных (БД) уязвимостей, которые пополняются ежедневно и их достоверность проверяется экспертами в сфере ИБ. Часто ошибки, причем очень критичные (например, удаленное исполнение кода или отказ в обслуживании) находят в библиотеках, предоставляемых крупными компаниями-поставщиками ПО. Поэтому при разработке ПО сканер подобного рода необходим.

Для контроля за состоянием ПО на VM используется система мониторинга с дополнительным ПО, позволяющим сопоставлять версии установленного ПО и БД уязвимостей. При обнаружении уязвимого программного решения будет произведено оповещение администратора.

Заключение

В работе были рассмотрены различные меры, которые можно предпринять для обеспечения ИБ публичных облачных сервисов. Программный инструментарий, обеспечивающий кибербезопасность системы, можно найти в открытом доступе и использовать бесплатно в личных и коммерческих целях. Применение мер, описанных в данной работе, существенно снижают риск взлома системы, кражи личных и учетных данных, а также уменьшает нагрузку на большую часть элементов ПОС.

Список литературы

1. *Бондарев В.В.* Введение в информационную безопасность автоматизированных систем. Учебное пособие – 252с.
2. *Gregory Boyce* Linux Networking Cookbook – 152с.
3. *Бирюков А.А.* Информационная безопасность. Защита и нападение – 434с.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов, Р.Х. Шагимуллин,
Р.С. Сальманов

ГЕНЕРАЦИЯ РЕЗОНАНСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ
КОЛЕБАНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Ключевые слова: Генератор акустической энергии, поршневой акустический нагнетатель, газовая струя.

Рассмотрены конструкции генераторов акустических колебаний. Приводятся данные экспериментальных исследований работы генераторов в резонансном режиме. Предложено определять пригодность акустических генераторов в зависимости от выполнения концов акустической трубы.

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov, R.Kh. Shagimullin,
R.S. Salmanov

GENERATION OF RESONANT ACOUSTIC VIBRATIONS
AND THEIR USE

Keywords: Acoustic energy generator, an acoustic piston blower, a gas jet.

The designs of acoustic vibration generators are considered. The date of experimental studies of the operation of generators in the resonant mode are presented. It is proposed to determine the suitability acoustic generators depending on the performance of the ends of the acoustic tube.

Л.С. Ломакина, М.Н. Молчанов
РЕФАКТОРИНГ МОДЕЛЕЙ ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ
СТРУКТУР

Ключевые слова: алгебраические структуры, рефакторинг, шаблоны проектирования.

В работе представлен алгоритм применения алгебраических структур в рефакторинге, показана его математическая основа, а также приводится возможность его комбинации с методами рефакторинга моделей программ, основанными на паттернах проектирования.

L.S. Lomakina, M.N. Molchanov
REFACTORING SOFTWARE MODELS BASED ON
ALGEBRAIC STRUCTURES

Keywords: algebraic structures, refactoring, design patterns.

The paper presents an algorithm for applying algebraic structures to refactoring, as well as the possibility of combining it with refactoring methods of program models based on design patterns.

К.Ю. Плесовских, М.Х. Мухарьямов, Н.П. Ямпурин
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА
ПЛАТФОРМАХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ НА
ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Ключевые слова: цифровые двойники, платформы данных о пользователях, прогнозирование поведения клиента.

В работе исследована возможность применения цифровых двойников в ритейле к задаче прогнозирования поведения клиента для повышения эффективности маркетинговых взаимодействий с клиентами. Выделен графовый подход как обладающий существенным преимуществом по учету взаимосвязи между данными пользователями профиля. Модель прогнозирования поведения пользователя предложено строить с применением графовой нейронной сети.

K.Y. Plesovskikh, M.H. Mukharyamov, N.P. Yampurin
PREDICTION OF CONSUMER BEHAVIOR ON THE
CUSTOMER DATA PLATFORMS BASED ON DIGITAL
TWINNS

Keywords: digital twins, customer data platforms, forecasting customer behavior.

The paper explores the possibility of using digital twins in retail for the task of predicting customer behavior to increase the effectiveness of marketing interactions with customers. The graph approach is described as having a significant advantage in accounting for the relationship between user profile data. It is proposed to build a model for predicting customer behavior using a graph neural network.

М.Л. Хазиев, Е.В. Зубков
СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
ПРИВОДА ТРУБООТРЕЗНОГО СТАНКА-АВТОМАТА

Ключевые слова: станок-автомат, гидравлический привод, нейро-нечеткая сеть, ПИ-регулирование.

В работе рассмотрен принцип работы гибридной нейро-нечеткой сети получения коэффициентов регулирования ПИ-регулятора гидравлического привода станка-автомата отрезки труб и обточки фасок. ПИ-регулятор функционирует совместно с диагностической интеллектуальной (экспертной) системой станка, на основе поступающих от нее данных, и, с использованием аппроксимирующей нейро-нечеткой сети, рассчитываются требуемые коэффициенты регулирования, и производится непосредственное регулирование элементами гидропривода станка. Предложенная система повышает энергоэффективность такого типа привода без потери качества управления.

M.L. Khaziev, E.V. Zubkov
METHOD FOR OBTAINING CONTROL COEFFICIENTS OF
THE HYDRAULIC DRIVE OF A PIPE-CUTTING MACHINE

Keywords: automatic machine, hydraulic drive, neuro-fuzzy network, PI-regulation.

The paper considers the principle of operation of a hybrid neuro-fuzzy network for obtaining the control coefficients of the PI-regulator of the hydraulic drive of the machine tool-automatic pipe cutting and chamfering. The PI controller functions in conjunction with the diagnostic intelligent (expert) system of the machine, based on the data received from it, and using an approximating neuro-fuzzy network, the required control coefficients are calculated, and direct control is performed by the elements of the hydraulic drive of the machine. The proposed system increases the energy efficiency of this type of drive without loss of control quality.

М.П. Овчинцев, Е.М. Гусакова
НАХОЖДЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО НАИЛУЧШЕГО МЕТОДА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ФУНКЦИЙ
КЛАССА $H_{1,\rho}(\zeta)$

Ключевые слова: оптимальное восстановление, наилучший метод приближения, линейный наилучший метод, коэффициенты линейного наилучшего метода, погрешность наилучшего метода.

В статье решена задача оптимального восстановления

M.P. Ovchintsev, E.M. Gusakova
FINDING THE LINEAR BEST METHOD FOR RECOVERING
DERIVATIVES OF CLASS FUNCTIONS $H_{1,\rho}(\zeta)$

Keywords: optimal recovery, best approximation method, linear best method, linear best method coefficients, best method error. The article solves the problem of optimal recovery of derivatives of functions of the class $H_{1,\rho}(\zeta)$ (functions are considered with some weight), defined in the circle by the values of the functions at given points. The work consists of three parts. The first recalls

производных от функций класса $H_{1,\rho}(\zeta)$ (функции рассматриваются с некоторым весом), определенных в круге по значениям функций в заданных точках. Работа состоит из трех частей. В первой напоминаются некоторые необходимые для статьи понятия и результаты. Во второй части выписываются экстремальные функции, при помощи которых находится погрешность наилучшего метода приближения. Устанавливается, что при некотором условии экстремальная функция не единственна, а при другом экстремальная функция единственна с точностью до множителя $e^{i\delta}$ (δ – любое действительное число). В третьей части доказывается, что линейный наилучший метод восстановления единственен и в конце работы вычисляются его коэффициенты.

Т.А. Деменкова, А.С. Боронников
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ
БИБЛИОТЕЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СТАНДАРТНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Ключевые слова: библиотечные компоненты, программные средства проектирования цифровых устройств, защищенное проектирование.

В работе рассматривается методика создания библиотечных компонентов для задачи защищенного проектирования цифровых устройств на основе современной элементной базы. Предложен способ выбора программных средств для решения задачи проектирования с учетом требований технического задания. Приводится конкретный пример проектирования в САПР Cadence Allegro. Показаны возможные области применения полученных в работе результатов.

Ю.Д. Кореньков
МЕТОД ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО АНАЛИЗА
ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ
СЕМАНТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: семантическая трансляция, предметно-ориентированные языки, инкрементальный анализ.

В работе рассматривается семантический анализ текстов программ и программных систем для проверки совместимости между их частями, написанными на различных языках программирования. Предложен язык описания спецификаций семантических моделей программ и их отображений, а также язык описания синтаксических моделей исходных текстов программ для построения абстрактных семантических графов в ходе семантического анализа текстов программ.

А.И. Акимов, И.А. Акимов, В.Н. Абузаров
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В СЛОИСТЫХ
СРЕДАХ С НЕИДЕАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ КОНТАКТОМ

Ключевые слова: теплопроводность, слоистые тела, условия сопряжения, тепловой поток, уравнения Вольтерра.

В статье приводятся результаты изучения теплопроводности в слоистых средах с неидеальным тепловым контактом между слоями

Н.Н. Беспалов, А.В. Волков, А.Д. Ваничкин
ПРИМЕНЕНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА CORDIC ДЛЯ
РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ТРЁХФАЗНОГО
ГЕНЕРАТОРА

Ключевые слова: итерационный метод, математическая модель, экспериментальное исследование.

В данной статье рассмотрено применение итерационного метода CORDIC для реализации алгоритма трёхфазного генератора синусоидального напряжения, который может применяться при построении систем управления инверторами напряжения на базе простой логики или ПЛИС. Проект был реализован на базе ПЛИС компании Altera на чипе EP4CE6E22C8.

some concepts and results necessary for the article. In the second part, extreme functions are written out with the help of which the error of the best approximation method is found. It is established that under some condition the extremal function is not unique, and under another condition the extremal function is unique up to a factor $e^{i\delta}$ (δ – is any real number). The third part shows that the linear best recovery method is unique and its coefficients are calculated at the end of the work.

T.A. Demenkova, A.S. Boronnikov
RESEARCH OF THE PROCESS OF CREATING LIBRARY
COMPONENTS USING STANDARD SOFTWARE

Keywords: library components, digital device design software, secure design.

The paper discusses the methodology for creating library components for the task of the secure design of digital devices based on the modern element base. A method for choosing software for solving the design problem taking into account the requirements of the technical task is proposed. A specific design example in CAD Cadence Allegro is given. Possible applications of the results obtained in this work are shown.

I.D. Korenkov
METHOD OF DOMAIN-SPECIFIC ANALYSIS FOR
PROGRAM SOURCES BASED ON SEMANTIC MODELS

Keywords: semantic translation, domain-specific languages, incremental analysis.

This paper discusses semantic analysis of software system sources intended to check consistency between different parts of system, that are written in different programming languages. Semantic model specification language proposed for descriptions of program models and semantic translations between them, as well as syntax model specification language for program source text analysis and ASG construction during semantic analysis.

A.I. Akimov, I.A. Akimov, V.N. Abuzyarov
MATHEMATICAL MODELING AND DETERMINATION OF
HEAT FLUXES IN LAYERED MEDIA WITH NON-IDEAL
THERMAL CONTACT

Keywords: thermal conductivity, layered bodies, matching conditions, thermal flow, Volterra equation.

The article presents the results of studying thermal conductivity in layered mediums with imperfect thermal contact between layers.

N.N. Bespalov, A.V. Volkov, A.D. Vanichkin
APPLICATION OF THE CORDIC ITERATIVE METHOD
FOR THE IMPLEMENTATION OF THE THREE-PHASE
GENERATOR ALGORITHM

Keywords: iterative method, mathematical model, experimental research.

This article discusses the application of the CORDIC iterative method to implement the algorithm of a three-phase sinusoidal voltage generator, which can be used to construct control systems for voltage inverters based on simple logic or FPGA. The project was implemented on the basis of Altera FPGAs on the EP4CE6E22C8 chip.

Н.Н. Беспалов, А.В. Волков, А.Д. Ваничкин
 НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ
 ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: нейронная сеть, математическая модель, экспериментальное исследование.

В данной статье рассмотрена математическая модель натриевой лампы высокого давления на основе искусственной нейронной сети. Приводится построение и обучение двухслойной динамической нейронной сети с линейными функциями активации. Обучение нейронной сети осуществлялось по алгоритму обратного распространения ошибки с использованием метода Левенберга – Марквардта.

Ф.А. Галимянов, П.В. Малов
 ВЕРОЯТНО-КОРРЕКТНАЯ В СМЫСЛЕ
 АППРОКСИМАЦИИ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: аппроксимация, вероятность, нейронные сети, двоичная классификация, обучение с учителем, класс понятий.

В статье рассматривается принцип обучения нейронной сети в системах двоичной классификации. В работе вводятся специальные термины, такие как: среда, понятия, класс понятий. Под понятием здесь следует понимать любой объект из предметной области. Используются примеры, которые могут быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от того входят они в понятия или нет. Приводится зависимости последовательности данных обучающей длины для понятия. Находятся вероятности ошибки при обучении с использованием целевой функции. Для алгоритма обучения, определяется два параметра управления: параметр ошибки и параметр доверия. В работе также приводится блок-диаграмма модели обучения.

А.А. Зайдуллин, О.Ш. Даутов
 ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СПЕКТРА
 РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА ПРИ
 РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ СРЕДУ С
 ГРАДИЕНТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ВОЛНОВОГО
 СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ключевые слова: неоднородная среда, спектр радиопульса, распространение радиоволн, расчет электромагнитного поля, изменение спектра сигнала.

В работе представлены результаты исследования преобразования спектра зондирующих радиолокационных импульсов при распространении через неоднородную двухслойную среду с градиентным изменением волнового сопротивления вдоль направления распространения.

Е.Н. Минаев
 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
 КОНВЕКТИВНОЙ ДИФфуЗИИ РАСТВОРЁННОГО
 КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ
 АВТОМОДЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Ключевые слова: математическое моделирование; конвективная диффузия, дифференциальное уравнение.

Моделирование проведено на основе решения дифференциального уравнения конвективной диффузии при ламинарном плоскопараллельном течения жидкости. Показано, что двучленное выражение для параболического профиля скорости может быть заменено одночленным выражением. Это позволило найти автомодельное решение. Получены формулы для расчёта концентрации растворённого в воде кислорода и плотности потока кислорода на границе раздела фаз. Представлены результаты численного исследования толщины диффузионного слоя.

N.N. Bespalov, A.V. Volkov, A.D. Vanichkin
 HIGH PRESSURE NEURAL NETWORK SODIUM LAMP
 Keywords: neural network, mathematical model, experimental study.

This article discusses the mathematical model of a high-pressure sodium lamp based on an artificial neural network. The construction and training of a two-layer dynamic neural network with linear activation functions is given. The neural network was trained using the back-propagation algorithm with the Levenberg-Marquardt method.

F.A. Galimyanov, P.V. Malov
 PROBABILITY-CORRECT IN THE MEANING OF
 APPROXIMATION TRAINING MODEL

Keywords: approximation, probability, neural networks, binary classification, teaching with a teacher, class of concepts.

The article discusses the principle of training a neural network in binary classification systems. In the work, special terms are introduced, such as: environment, concepts, class of concepts. Under the concept here should be understood any object from the subject area. Examples are used that can be both positive and negative, depending on whether they enter the concepts or not. The dependencies of the sequence of data of the training length for the concept are given. Find the probability of error in learning using the objective function. For the learning algorithm, two control parameters are defined: the error parameter and the confidence parameter. The work also provides a block diagram of the learning model.

A.A. Zaydullin, O.Sh. Dautov
 CHANGE IN THE PHASE SPECTRUM OF A RADAR PULSE
 WHEN PROPAGATING THROUGH AN INHOMOGENEOUS
 MEDIUM WITH A GRADIENT CHANGE IN THE WAVE
 RESISTANCE

Keywords: inhomogeneous medium, radio pulse spectrum, radio wave propagation, electromagnetic field calculation, signal spectrum change.

The paper presents the results of a study of the transformation of the spectrum of probing radar pulses when propagating through an inhomogeneous two layer medium with a gradient change in the wave resistance along the propagation direction.

E.N. Minaev
 MATHEMATICAL SIMULATION OF CONVECTIVE
 DIFFUSION OF DISSOLVED OXYGEN BY
 AUTOMODELING SOLUTION

Keywords: mathematical simulation, convective diffusion, differential equation.

Mathematical simulation of convective diffusion of dissolved oxygen is presented. Parabolic function of velocity was replaced by a one-member formula. Automodeling solution was received. Formulas for calculating of oxygen concentration and flux of oxygen in the boundary of metal and liquid were discovered. The diffusion boundary layer was investigated.

В.А. Молчанова, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова,
И.К. Киямов, Л.С. Сабитов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАЧИ РЕАГЕНТОВ

Ключевые слова: фильтрующее устройство, скважинная дозирующая установка, химический реагент.

В статье решается проблема повышения эффективности и надежности работы дозирующего устройства путем очистки подаваемого химического реагента от мехпримесей через фильтрующее устройство тонкой очистки. Предложена конструкция фильтрующего устройства тонкой очистки в составе скважинной дозирующей установки. Проведены расчеты и моделирование геометрии фильтра и модели фильтра в нагруженном состоянии.

К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер,

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕПРОВОДАХ

Ключевые слова: спирального турбулизатора потока, ручейковая коррозия, нефтепроводная сеть.

В статье решается проблема снижения интенсификации процессов коррозии в нефтепроводной сети. Отмечены причины возникновения коррозии и предложены способы решения этой задачи. Предложена конструкция внутритрубного спирального турбулизатора потока с расчетом основных параметров. Проведены расчеты и моделирование поведения потока жидкости в канале внутритрубного спирального турбулизатора.

А.А. Кочешков, Д.А. Сенькив

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПУБЛИЧНЫХ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ

Ключевые слова: информационная безопасности, виртуальный сервер, облачный сервис, предотвращение кибератак.

В работе представлены анализ и меры обеспечения кибербезопасности публичных облачных сервисов – системы виртуальных серверов, позволяющих пользователям получать возможность хранить файлы, размещать приложения, использовать операционную систему. Приведенные меры являются универсальными для большинства спроектированных компьютерных сетей. Целью работы является улучшение защиты системы от потенциальных кибератак.

V.A. Molchanova, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova,
I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE DOSING DEVICE FOR REAGENT FEEDING

Keywords: filtering device, borehole dosing unit, chemical reagent.

The article solves the problem of increasing the efficiency and reliability of the metering device by cleaning the supplied chemical reagent from solids through a fine filter device. The design of a fine filtering device as part of a borehole dosing unit is proposed. The calculations and modeling of the filter geometry and the model of the filter in the loaded state were carried out.

K.R. Urazakov, E.B. Dumler,

WAYS TO REDUCE THE INTENSIFICATION OF CORROSION PROCESSES IN OIL PIPELINES

Keywords: spiral flow turbulizer, brook corrosion, oil pipeline network.

The article solves the problem of reducing the intensification of corrosion processes in the oil pipeline network. The causes of corrosion are noted and methods for solving this problem are proposed. The design of an in-line spiral flow turbulator with the calculation of the main parameters is proposed. The calculations and modeling of the behavior of the fluid flow in the channel of the in-tube spiral turbulator are carried out.

A.A. Kocheshkov, D.A. Senkiv

INFORMATION SECURITY OF PUBLIC CLOUD SERVICES

Keywords: information security, virtual server, cloud service, cyber attack prevention.

The paper presents an analysis and measures to ensure the cybersecurity of public cloud services - a system of virtual servers that allow users to be able to store files, host applications, and use the operating system. The given measures are universal for most of the designed computer networks. The aim of the work is to improve the protection of the system from potential cyberattacks.

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

№7 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 23.07.2020 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 23.07.2020
6,1 усл.печ.л. 7,2 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2830.

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»