

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№1 2021

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
2021**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 76 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, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов, Р.Х. Шагимуллин, М.Р. Вахитов, Э.И. Галева
АКУСТИЧЕСКИЕ НАГНЕТАТЕЛИ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СРЕД 6

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

А.О. Аристов АВТОМАТНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ КВАЗИКЛЕТОЧНЫХ СЕТЕЙ 9

В.С. Братыгина, Д.И. Новиков, А.А. Сатаев, Н.В. Герман, Е.Д. Ермоленко, В.И. Мельников ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С ГАЗОНАСЫЩЕННЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В МОДЕЛИ ПЕТЛИ СУДОВОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ 18

Зай Яр Вин, Т.А. Морозова, А.В. Старков, А.А. Тришин ФОРМИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДОПОЛНЕНИЯ ГЛОНАСС 22

Зай Яр Вин, А.В. Старков, А.В. Федоров, А.А. Тришин КОМПЕНСАЦИЯ ДЕГРАДАЦИИ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ДОПОЛНЕНИЯ ГЛОНАСС 26

В.И. Полуничев, Е.П. Мошарина АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ. ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ 32

И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРОВЕДЕНИЕ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 35

О.А. Рокачевский, В.В. Слепцов, А.Е. Аблаева, Динь Ба Фьонг СИНТЕЗ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНАТОЙ ВЫСОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КВАДРОКОПТЕРА 38

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

Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В АППАРАТЕ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА 42

П.О. Князева АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДООЧИСТКИ НА ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ 46

А.Д. Курзанов, Н.В. Кузнецов ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ» 50

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

А.Б. Сорокин, Л.М. Железняк, Д.В. Супруненко ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА 54

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

<i>М.А. Бобров, В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ	57
<i>Т.Г. Куликова, Р.Г. Куликов</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЯЗКОУПРУГОГО ПОЛИМЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЕРЕМЕННЫХ МОДУЛЕЙ	61
<i>О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Я.П. Голубев</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА СО ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ В МНОГОСЛОЙНОМ ВЫСОКОПОРИСТОМ ФИЛЬТРЕ	66
АННОТАЦИИ	70

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov, R.Kh. Shagimullin, M.R. Vakhitov, E.I. Galeeva ACOUSTIC SUPERCHARGERS FOR GAS-LIQUID MEDIA 6

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

A.O. Aristov AUTOMATION ASPECTS OF SIMULATION AND SOFTWARE REALIZATION OF QUASI CELLULAR NETS 9

V.S. Bratygina, D.I. Novikov, A.A. Sataev, N.V. German, E.D. Ermolenko, V.I. Melnikov INVESTIGATION OF TRANSIENT PROCESSES WITH A GAS-SATURATED COOLANT IN THE SHIP NUCLEAR POWER PLANT LOOP MODEL 18

Zay Yar Win, T.A. Morozova, A.V. Starkov, A.A. Trishin FORMATION OF ORBITAL PARAMETERS OF NAVIGATION SPACECRAFT OF THE GLONASS SUPPLEMENT 22

Zay Yar Win, A.V. Starkov, A.V. Fedorov, A.A. Trishin COMPENSATION FOR DEGRADATION OF ORBITAL PARAMETERS OF GLONASS HIGH ORBITAL GROUPING 26

V.I. Polunichev, E.P. Mosharina NUCLEAR ENERGY FOR THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA. ECOLOGY AND SAFETY 32

I.S. Polyakova, F.G. Khisamov REGULATORY DOCUMENTS GOVERNING COMMISSIONING - PROBLEMS AND PROSPECTS 35

O.A. Rokachevsky, V.V. Sleptsov, A.E. Ablaeva, Dinh Ba Phuong SYNTHESIS OF THE HEIGHT COORDINATE CONTROL LOOP OF THE INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM OF THE QUADROPTER 38

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

N.V. Andrievskaya, O.A. Andrievskiy RESEARCH OF METHODS OF SYNTHESIS OF THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN A GAS AIR COOLER 42

P.O. Knyzeva AUTOMATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS AT A FILTER STATION OF THE ENTERPRISE OF PERM TERRITORY 46

A.D. Kurzanov, N.V. Kuznetsov FEATURES OF CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CELLULAR CONCRETE PRODUCTION USING THE COMPUTER PROGRAM "STRUKTURROOBRAZOVANIYE NGB" 50

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

A.B. Sorokin, L.M. Zheleznyak, D.V. Suprunenko DESIGNING PROBABILITY MODELS BASED ON SITUATION ANALYSIS 54

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

M.A. Bobrov, V.Y. Artamonov, N.V. Dubov SIMULATION OF FLUX LINKAGE OBSERVERS FOR DOUBLY-FED INDUCTION MOTOR DRIVE 57

T.G. Kulikova, R.G. Kulikov NUMERICAL MODELING OF THE CRYSTALLIZATION PROCESS OF A VISCOELASTIC POLYMER USING THE VARIABLE MODULUS METHOD 61

O.V. Soloveva, S.A. Solovev, R.R. Yafizov, Ya.P. Golubev NUMERICAL SIMULATION OF GAS FLOW WITH SUSPENDED PARTICLES IN THE MULTILAYER OPEN CELL FOAM FILTER 66

ABSTRACTS 70

05.13.06

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ⁴М.Г. Кузнецов канд. техн. наук,
³Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ²М.Р. Вахитов,
¹Э.И. Галеева канд. хим. 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»,
⁴Казанский государственный аграрный университет,
институт экономики,
кафедра Экономики и информационных технологий,
Казань, yerus@yandex.ru, max-kuzz@ya.ru, shagimullin@ntvp.ru

АКУСТИЧЕСКИЕ НАГНЕТАТЕЛИ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СРЕД

Рассмотрены устройство и принцип работы акустического нагнетателя газожидкостных сред, отмечены его преимущества перед аппаратами, работающими в стационарном режиме.

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

В основу проектирования акустических нагнетателей газа или жидкостей положены технические решения, использованные в поршневых компрессорах, акустических нагнетателях и резонаторах.

Нагнетатель имеет клапанную систему, поршень и сильфон, используемые в поршневых компрессорах, электромагнитную систему, заимствованную у акустических нагнетателей газа [2-4], и работает в резонансном режиме. Настройка нагнетателя на резонанс описана в [5].

Нами была продолжена работа по созданию эффективного акустического нагнетателя газа на основе разработанных нами технических решений по данному направлению [6].

Так, на рис.1 представлено новое техническое решение конструкции водометного двигателя.

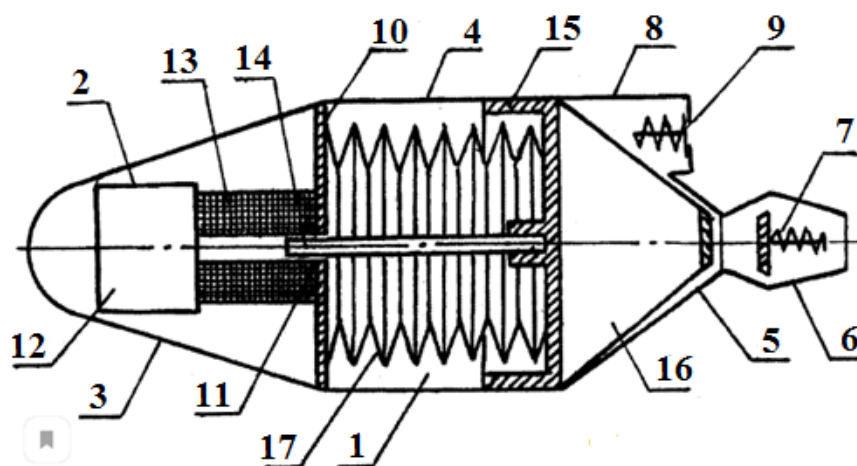


Рис.1 – Водометный двигатель:

1 – водометная труба; 2 – двигатель; 3 – обтекатель; 4 – цилиндр; 5 – конусный переходник; 6 – сопло; 7 – нагнетательный клапан; 8 – патрубок; 9 – всасывающий клапан; 10 – перегородка; 11 – центральное отверстие; 12 – аккумуляторная батарея; 13 – соленоид; 14 – сердечник; 15 – поршень; 16 – головка; 17 – сильфон

Принцип работы водометного движителя заключается в следующем: поступающий в соленоид от аккумуляторной батареи электрический ток приводит к образованию в соленоиде магнитного поля, благодаря которому упругая система, состоящая из сердечника, поршня и сильфона, совершает колебательное движение с большой частотой вдоль оси водометной трубы. При втягивании сердечника через центральное отверстие в перегородке в окно соленоида поршень с головкой перемещается, сжимая сильфон, из крайнего правого положения в крайнее левое положение. При этом в цилиндре и в конусном переходнике создается разрежение, всасывающий клапан открывается и жидкость через патрубок поступает в водометную трубу.

При выталкивании сердечника из окна соленоида поршень, растягивая сильфон, перемещается из крайнего левого положения в крайнее правое положение. За счет этого в цилиндре и в конусном переходнике создается избыточное давление. Всасывающий клапан закрывается и поступление жидкости в водометную трубу через патрубок прекращается. Далее нагнетательный клапан открывается и жидкость выбрасывается из водометной трубы через сопло наружу. За счет периодического выброса жидкостной струи из сопла возникает реактивная тяга, толкающая водометный движитель в противоположную выбрасываемой струе сторону.

На основании принципа работы водометного движителя нами был создан акустический нагнетатель для газожидкостных сред, конструкция которого приведена на рис.2. Он отличается тем, что в данной конструкции использованы новые подходы для работы акустического нагнетателя для газожидкостных сред, а именно для газожидкостных эмульсий и суспензий.

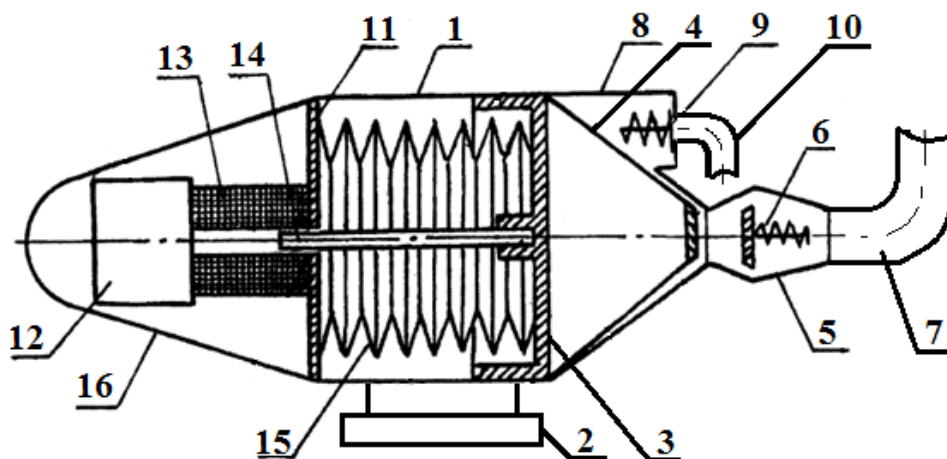


Рис.2 – Акустический нагнетатель газожидкостных сред:

- 1 – корпус; 2 – плата; 3 – поршень; 4 – зонтик; 5 – сопло; 6 – нагнетательный клапан;
7 – труба; 8 – патрубок; 9 – всасывающий клапан; 10 – всасывающая труба;
11 – перегородка; 12 – аккумуляторная батарея; 13 – соленоид; 14 – сердечник;
15 – сильфон; 16 – кожух

На рис.2 изображен акустический нагнетатель растворов и газожидкостных эмульсий и суспензий, выполненный на базе водометного движителя.

Новыми техническими решениями в разработанной конструкции являются:

- 1) Использование в нагнетателе в качестве источника электропитания аккумуляторной батареи.
- 2) Использование соленоида в качестве передающего колебательного движения поршню. Это существенно упрощает конструкцию нагнетателя и делает его бесшумным в работе, что крайне важно при его использовании на практике.
- 3) Наличие кожуха, герметично соединенного с перегородкой, позволяет устанавливать нагнетатель в жидкой среде.

4) Использование сильфона исключает попадание жидкости в соленоид и аккумуляторную батарею, а также приводит к смягчению ударов поршня о стенки корпуса нагнетателя.

5) Все узлы нагнетателя, за исключением аккумулятора и соленоида, могут быть выполнены из полимерного материала, что существенно снижает общую массу нагнетателя.

Это очень важно для практического использования нагнетателя и намного снижает его стоимость и расширяет области применения.

Известно [1,2], что важными энергетическими характеристиками акустического нагнетателя является мощность, коэффициент полезного действия и энергосбережение.

Мощность подводимая к поршню N_n . Производительность - Q_n .

Энергоэффективность можно оценить критерием энергоэффективности, рассчитываемым по формуле:

$$K_n = \frac{Q_n}{N_n} \quad (1)$$

Коэффициент полезного действия нагнетателя рассчитывается по формуле:

$$\eta_n = \frac{N_s}{N_n}, \quad (2)$$

где N_s – мощность, затрачиваемая в нагнетателе на генерирование газовой или жидкостной струи.

Для оценки энергосберегающей способности акустического нагнетателя может служить отношение $\frac{N_n}{N_2}$, в котором N_2 – суммарный расход мощности работающего в стационарном режиме машины (компрессор, насос, вентилятор).

Рассчитанные нами энергетические характеристики акустических нагнетателей для конкретных газожидкостных сред показывают:

1. Все узлы нагнетателя, кроме аккумуляторной батареи и соленоида могут быть изготовлены из полимерного материала, что снижает массу нагнетателя более чем в четыре раза и стоимость на тридцать процентов.

2. Нагнетатель газа, выполненный на базе акустического резонатора, по производительности эффективнее поршневых машин более чем в 8 раз.

3. Нагнетатель прост в изготовлении и бесшумен в работе, а использование сильфона в конструкции обеспечивает безударную работу.

Список литературы

1. Кузнецов М.Г., Коротков Ю.Ф., Ларионов В.М. Генераторы акустических колебаний. – Казань: Казанский ГАУ, 2016. -100 с.
2. Коротков Ю.Ф., Кузнецов М.Г., Косулин В.В. Энергетические характеристики поршневого акустического нагнетателя газа. Проблемы энергетики, 2014, №3-4, С. 62-66.
3. Пат.164570. РФ, МПК F04F 7/00. Поршневой акустический резонатор. Коротков Ю.Ф., Семин И.А., Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Ермакова Е.Ю.; заявитель и патентообладатель – Казанский национальный исследовательский технологический университет. - №2015152721/08, заявл.08.12.2015; опубл.10.09.2016, Бюл. №25.
4. Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Сальманов Р.С. Генерация резонансных акустических колебаний и их использование. Научно-технический вестник Поволжья, №7, 2020. – С.7-10.
5. Коротков Ю.Ф., Минкин В.С., Зиятдинов Р.Х., Репина А.В. Экспериментальные исследования акустических генераторных установок. Вестник КГТУ (КАИ) им.Ак.Туполева, 2018, №1, С. 23-28.
6. Пат. 2607151. РФ, МПК B62H 11/00. Водометный движитель. Коротков Ю.Ф., Семин И.А., Шагивалеев А.А., Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Ларионов В.М.; заявитель и патентообладатель – Казанский национальный исследовательский технологический университет. - №2015127329, заявл.07.07.2015; опубл.10.01.2017, Бюл. №1.

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

05.13.01

А.О. Аристов канд. техн. наук

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
кафедра Автоматизации проектирования и дизайна,
batan-87@mail.ru

**АВТОМАТНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
РАБОТЫ КВАЗИКЛЕТОЧНЫХ СЕТЕЙ**

Рассмотрены аспекты алгоритмической и автоматной реализации циркуляции в квазиклеточных сетях. Показана возможность представления и моделирования процесса циркуляции в квазиклеточной сети в виде конечного автомата. Построены модели работы квазиклеточных сетей на базе UML-диаграмм. Предлагаемые модели позволяют разрабатывать физические и программные симуляторы работы квазиклеточных сетей.

Ключевые слова: *квазиклеточная сеть, циркуляция, конечный автомат, UML, диаграмма состояний.*

Введение

В различных предметных областях рассматриваются системы, поведение которых объясняется распространением потоков в ограниченном пространстве. Для таких систем компьютерное моделирование рассматривается как общенаучный метод исследования, при котором в рамках компьютерной модели решается достаточно широкий круг задач, связанный с исследованием поведения, оценкой работы и принятием решений по реинжинирингу технических систем.

В настоящее время моделирование потоковых систем рассматривается отдельно на микро- и макроуровнях[1]. На микроуровне потоковые системы рассматриваются через поведение отдельных объектов в потоке. Типичным примером такого рассмотрения является агентный подход[2]. На макроуровне поток рассматривается как единый объект, а также как свойства элементов дискретных моделей пространств потока (в особенности сетей)[3]. Особым подходом к рассмотрению потоков является системная динамика, где поток рассматривается как приращение уровня какой-либо потокообразующей величины[4]. Несмотря на многообразие моделей и подходов, актуальной остаётся проблема перехода между уровнями моделирования[5,6].

Одним из решений обозначенной проблемы является разработка нового типа динамических дискретных структур, обладающих признаками известных подходов, в которых поток рассматривается как направленное распространение объектов. Указанные дискретные структуры – квазиклеточные сети предложены в работах автора. Однако для практического применения и представления моделей целесообразно уделить внимание вопросам представления и программной реализации работы квазиклеточных сетей[6,7]. Исходя из этого, **целью работы является рассмотрение аспектов алгоритмической и автоматной реализации квазиклеточных сетей.** Достижение указанной цели сводится к решению следующих задач:

- Обзор квазиклеточных сетей как дискретных структур
- Представление моделей работы квазиклеточных сетей в виде комбинации управляющего и операционного автомата
- Проектирование программной реализации моделирования квазиклеточных сетей.

Краткие сведения о квазиклеточных сетях

В работах автора [7,8,9] рассматриваются квазиклеточные сети как фундаментальные дискретные структуры, не имеющие сигнатуры [7].

Первоначально представление о квазиклеточной сети даётся в виде структуры, предполагающей построение дискретных областей-клеток Q_u вдоль рёбер графа (рис. 1). Полагаем, что каждая клетка моделирует область пространства, заполняемую единицей потока (потокообразующим объектом, некоторым объёмом вещества потока).

В дальнейшем каждая клетка взвешивается набором данных B_i, C_i, S_i , включающих её пространственные координаты $B_i = (x_i, y_i, \dots)$ и ряд параметров потокообразующего объекта S_i , а также области пространства C_i . Указанный набор данных содержит фазовые переменные, определяющие состояние каждой клетки квазиклеточной сети.

Для интуитивно понятного представления о динамических аспектах квазиклеточных сетей автором рассматриваются [8,9] бинарные квазиклеточные сети, для которых, т.е. $S_i \in \{0,1\}$. Подобное состояние удобнее всего представить наличием фишки в клетке, по аналогии с сетями Петри.

Считаем, что изменение состояния в квазиклеточных сетях происходит с течением модельного времени $t = 0, \theta, 2\theta, 3\theta, \dots$, где $\theta = const$ – шаг (такт) дискретного модельного времени.

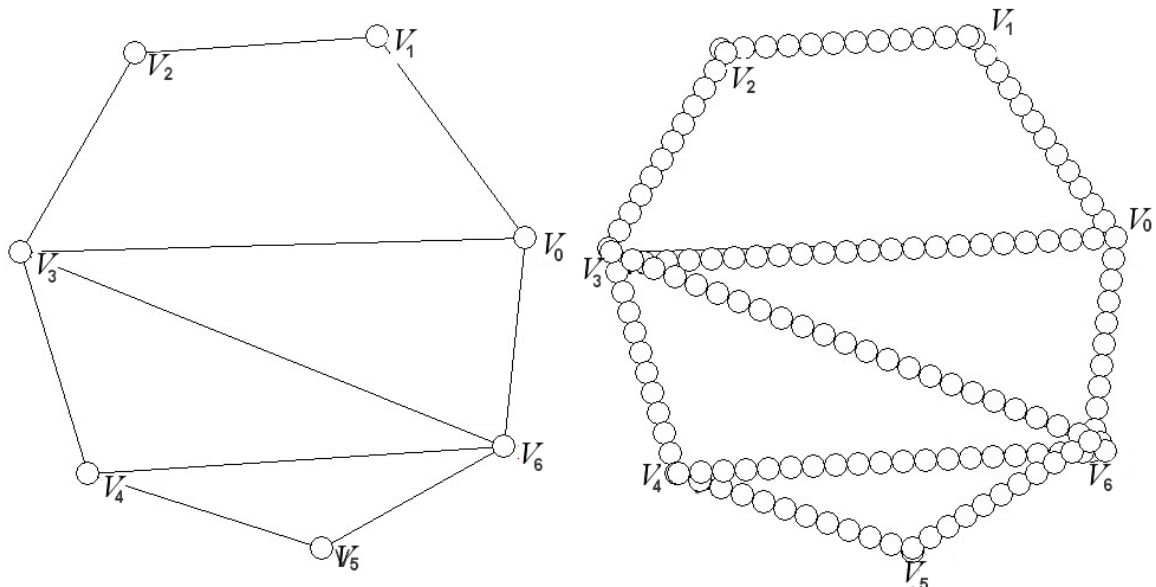


Рис. 1 – Квазиклеточная сеть с клетками, построенными вдоль рёбер графа

С течением модельного времени в квазиклеточной сети осуществляется переход состояния между соседними клетками $Q_u \rightarrow Q_v$. Следует отметить, что рассматриваемые переходы состояния происходят с течением дискретного модельного времени [7]. Множество всех переходов, выполняемых каждый такт модельного времени называется циркуляцией в квазиклеточной сети.

Динамический аспект в квазиклеточных сетях связан с понятием циркуляции.

В квазиклеточных сетях предусмотрены различные типы циркуляции [8,9], предполагающие введение ограничивающих условий наряду с условиями соседства клеток, а именно переход потокообразующего объекта (состояния клетки) в соседние с ней клетки по определённым правилам.

Основным назначением квазиклеточных сетей является моделирование систем, рассмотрение которых сводится к распространению потоков в сетях [7,8,9]. Речь идёт о распространении каких-либо микрообъектов или частиц вещества в ограниченном пространстве.

Несмотря на то, что квазиклеточные сети являются новым типом дискретных структур, они обладают некоторыми сходствами с широко известными графовыми моделями, сетями Петри, моделями потоков в сетях, клеточными автоматами и другими.

Следует отметить, что в настоящее время существуют различные методы синтеза квазиклеточных сетей [7], предполагающие распределение клеток и установление связи квазиклеточных сетей не только с объектами предметной области, которую они моделируют, но и с другими дискретными структурами. В случае синтеза квазиклеточных сетей методом базового графа, графовая макромодель фактически приобретает свойства динамической дискретной структуры (см. рис. 1). Рассматривая структуру клетки, появляется возможность получения не только мгновенных значений указанных векторов, но и нахождение аддитивных и мультипликативных величин. Значения таких величин формируются в процессе циркуляции:

$$\begin{aligned} S_i^{(C)}(t_m) &= \sum_i C_k(t_m) \\ S_i^{(S)}(t_m) &= \sum_i S_j(t_m) \\ P_i^{(C)}(t_m) &= \prod_i C_k(t_m) \\ P_i^{(S)}(t_m) &= \prod_i S_j(t_m) \end{aligned} \quad (1)$$

Они снимаются с участка квазиклеточной сети $Q^{(m)} \subset Q$, именуемого измерительным участком квазиклеточной сети за некоторый интервал времени циркуляции:

$$t_m = m \cdot \theta, \quad (2)$$

где θ – шаг дискретного модельного времени. Рассматриваемый подход фактически позволяет получить в рамках единой структуры как микро-, так и макроскопические параметры.

Учитывая постоянную циркуляцию в квазиклеточных сетях, а также их применение в задачах компьютерного моделирования потоковых систем, целесообразно уделить особое внимание вопросам, связанным с программной реализацией квазиклеточных сетей и дальнейшим применением полученных программных реализаций.

Отмеченные ранее особенности моделирования работы квазиклеточных сетей и их предметных приложений в задачах моделирования, показывают, что вопросы программной реализации квазиклеточных сетей тесно связаны с вопросами проектирования и разработки инструментальных средств и систем моделирования, для которых квазиклеточные сети используются в качестве математического обеспечения. Следует однако отметить, что для их практического применения потребуется программная или физическая реализация, тесно связанная с вопросами теории автоматов и теории алгоритмов.

С учётом описанных выше особенностей, **целью работы, результаты которой представлены далее, является рассмотрение аспектов алгоритмической и автоматной реализации квазиклеточных сетей**, что позволит:

построить модель процесса функционирования квазиклеточной сети на основе комбинации операционного и управляющего автоматов, а, следовательно, создать теоретическую базу для её программной и физической реализации;

построить объектную модель программного симулятора квазиклеточных сетей.

Следует отметить, что речь идёт об аспектах реализации квазиклеточных сетей, независимо от их предметной интерпретации.

Квазиклеточная сеть как конечный автомат

Для представления работы квазиклеточных сетей рассматривается подход, предложенный В.М. Глушковым, предполагающий реализацию квазиклеточной сети в виде комбинации операционного и управляющего автомата [10].

Учитывая существенные различия в возможных аппаратных и программных реализациях, а также обширную классификацию квазиклеточных сетей, рассмотрим принципиальную схему операционного автомата (Рис. 2), пригодную как для аппаратной, так и для программной реализации квазиклеточных сетей.

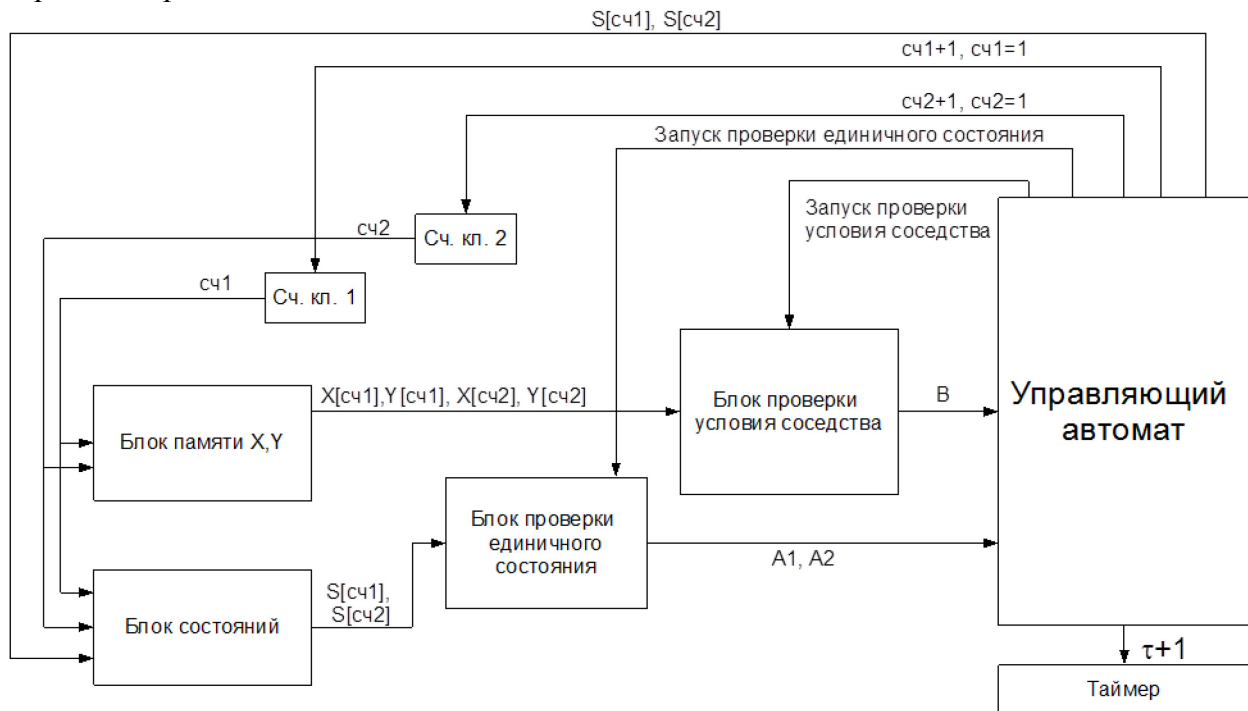


Рис. 2 – Принципиальная схема операционного автомата для моделирования работы квазиклеточной сети

Структура операционного автомата включает в себя следующие элементы:

- Блок памяти X, Y – фактически блок памяти для хранения постоянных параметров, содержащихся в V_i согласно структуре клетки. Для координатных квазиклеточных сетей $V_i = (x_i, y_i)$.

- Блок состояний – блок памяти, содержащий S_i .

- Блок проверки единичного состояния – схема, обеспечивающая проверку наличия в клетке потокообразующего состояния (ограничивающего условия), т. е. может ли состояние выбранной клетки быть передано соседним клеткам.

- Блок проверки условия соседства – схема, проверяющая выполнение условия соседства клеток для передачи состояния.

- Сч. кл. 1 и Сч. кл. 2 – счётчики клеток – учитывая, что при реализации работы квазиклеточной сети предполагается передача состояния между двумя клетками, указанные счётчики содержат номера заданных клеток.

- Другие счётчики – в зависимости от структуры клеток квазиклеточной сети следует ввести блоки памяти, содержащие также параметры, изменяемые в ходе циркуляции, содержащиеся в S_i . Чаще всего в качестве таких параметров выступают счётчики.

- Таймер – счётчик, отражающий время (динамическую характеристику) с течением которого осуществляется циркуляция в квазиклеточной сети.

Следует отметить, что физическая реализация указанных блоков осуществляется аппаратно или программно и зависит от имеющегося набора элементов или программных средств.

Представим работу управляющего автомата в виде графа переходов (рис. 3). На графе приняты следующие обозначения условий:

- A1 – условие наличия единичного состояния в клетке, порядковый номер которой записан в счётчик 1 (сч. 1);
- A2 – условие наличия единичного состояния в клетке, порядковый номер которой записан в счётчик 2 (сч. 2);
- В – условие соседства клеток, предполагающее

$$(x[cч1] - x[cч2])^2 + (y[cч1] - y[cч2])^2 \leq 4 \cdot R^2, \quad (3)$$

где $x[cч1]$, $x[cч2]$, $y[cч1]$, $y[cч2]$ – данные из блоков памяти X и Y, хранящих координаты клеток с номерами записанными в сч.1 и сч.2.

Кроме того, проверяются условия перехода к следующей клетке, из которой передаётся состояние и условие перехода к следующему такту работы (t) квазиклеточной сети.

На графе обозначены условия для счётчиков:

- С – завершение перебора клеток, в которые может быть осуществлена передача состояния из заданной клетки, порядковый номер которой записан в счётчик 1 (сч. 1), т. е. $сч.2 > n$;
- D – завершение такта работы квазиклеточной сети, завершён перебор всех клеток, которые могут передать состояние, т. е. $сч.1 > n$.

Таким образом, рассмотрена связь квазиклеточных сетей с конечными автоматами. Предложенные модели предоставляют возможности проектирования алгоритмов, программной и физической реализации процессов функционирования квазиклеточных сетей и циркуляции в них. Особое внимание следует обратить на то обстоятельство, что в виде автомата рассматривается не только работа квазиклеточной сети в целом, но и отдельных её клеток, соответствующим триггерам с отдельным входом.

Ранее были рассмотрены вопросы представления работы квазиклеточной сети в виде конечных автоматов с некоторым числом состояний. Каждый такой автомат был задан в виде графа переходов. При рассмотрении автомата при «Глушковском» подходе работа управляющего автомата представлена в виде циклограммы, являющейся аналогом блок-схемы. Рассмотренное ранее предполагало проектирование алгоритмов работы квазиклеточной сети. Построенные автоматы пригодны для различных реализаций, как на основе электронных компонентов, так и в виде программных средств [11]. Остановимся более подробно на вопросах программной реализации работы квазиклеточных сетей. В этом случае решается задача разработки программных средств, позволяющих обеспечить ввод, синтез и настройку параметров квазиклеточной сети, а также обеспечить моделирование её работы. Задача разработки программных средств сводится к решению следующих подзадач:

- выбор представления квазиклеточных сетей в ЭВМ;
- связь математического и программного обеспечения квазиклеточных сетей.

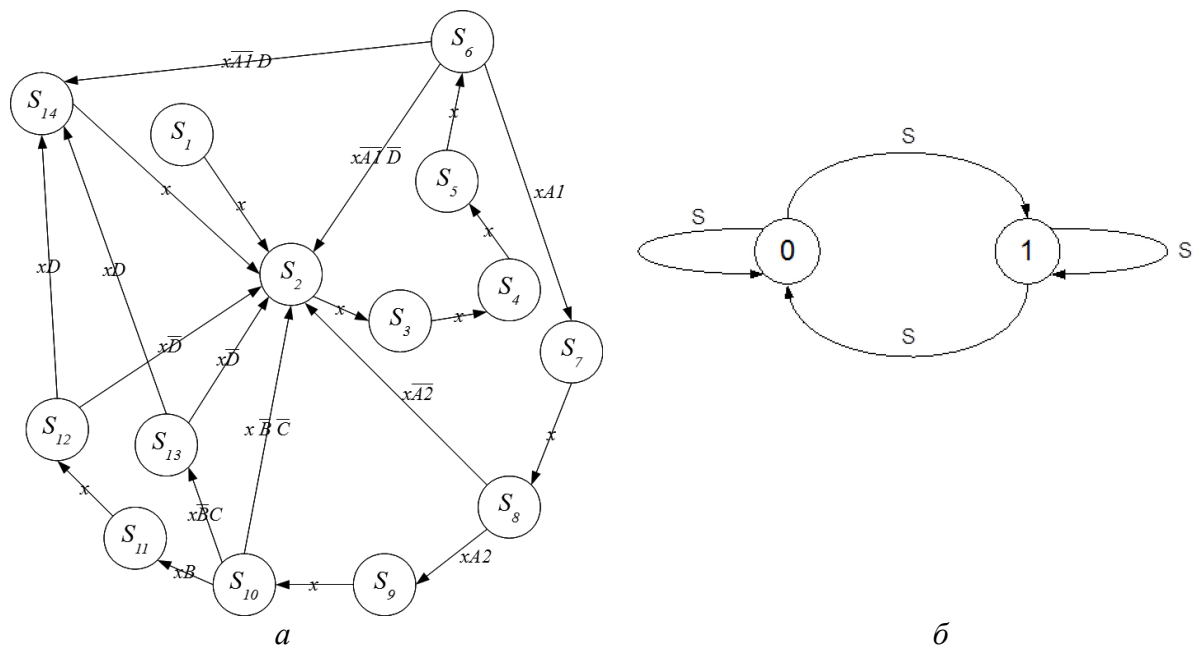


Рис. 3 – Работа квазиклеточной сети, заданная в виде графа переходов
а – для операционного автомата, б – клетка в виде триггера

Программная реализация

В настоящее время при выборе подходов к программной реализации систем традиционно используют два подхода – структурный и объектно-ориентированный. При структурном подходе проектируемая или моделируемая система (в данном случае квазиклеточная сеть) рассматривается в виде набора действий, связанных с её поведением и выполняемых в определённом порядке. При объектно-ориентированном подходе рассмотрение системы сводится к моделированию объектов, из которых она состоит. При объектно-ориентированном подходе поведение системы сводится к поведению отдельных объектов, из которых состоит система.

Рассмотрим автоматы, моделирующие работу квазиклеточной сети с позиции подходов к разработке программного обеспечения. Как было показано выше, в соответствии с тезисом Тьюринга, указанные автоматы реализуют алгоритм работы квазиклеточной сети. Рассматривая алгоритм как двусортное множество [10] $G = \langle V, U \rangle$, где V – действия, которые выполняются в процессе работы квазиклеточной сети; U – бинарные отношения, определяющие порядок перехода от одного действия к другому. Фактически, в качестве действий при работе квазиклеточной сети рассматриваются выполняемые микрокоманды. Видно, что микрокоманды фактически связаны с конкретными структурными элементами автомата, реализующего логику работы квазиклеточной сети. Кроме того, следует отметить, что каждая клетка также является автоматным элементом, а именно триггером с отдельным входом. Таким образом, целесообразным является применение объектно-ориентированного подхода для программной реализации квазиклеточных сетей. При этом каждая микрокоманда и логика работы квазиклеточной сети сводится к взаимодействию объектов и вызову их методов. Тогда бинарное отношение (порядок вызова методов) представляет собой воздействие одного объекта на другой, вызывающее определённое поведение второго.

Рассмотрим вопросы проектирования программных средств моделирования работы квазиклеточных сетей с применением средств языка UML (Unified Modeling Language). Этот язык предполагает наличие диаграмм поведения и структурных диаграмм. Основным назначением языка является проектирование программного обеспечения и моделирование различных динамических и статических аспектов проектируемой системы [11,12]. Будем рассматривать лишь некоторые диаграммы UML. Используя объектно-ориентированный подход для моделирования квазиклеточных сетей, каждый объект будет представлен в памяти ЭВМ в виде экземпляра класса (объекта класса). В такой ситуации класс следует рассматривать как структуру данных, включающую в себя поля (позволяющие представить

свойства элементов квазиклеточной сети) и методы (позволяющие представить поведение в соответствии с описанной ранее математической моделью).

Тогда рассмотрим объектную модель программы-симулятора работы квазиклеточной сети. Модель включает в себя следующие классы:

- TQNet – класс «Квазиклеточная сеть». Основными методами класса являются генерация сети (GenerateQNet) и выполнение одного такта циркуляции в момент времени (Circulate).

- TQNetElement – элемент квазиклеточной сети. Фактически не является классом, а представляет собой комбинированный тип данных, полями которого являются координаты клетки и её состояние. Переменные указанного типа образуют массив данных о клетках, являющийся полем класса TQNet.

- TGraph – базовый граф, на основе которого осуществляется синтез квазиклеточной сети.

Рассмотренная объектная модель отражает представление квазиклеточных сетей и их поведения в ЭВМ. Следует отметить, что предлагаемая объектная модель расширяется с учётом требований решаемой задачи. В частности речь идёт о расширении структуры клетки, введении элементов квазиклеточных сетей и измерительного участка. Кроме того, в зависимости от поставленной задачи вводятся классы для моделирования элементов клеточных автоматов, турникетов и т. д.

- Классы моделируют генератор (TGenerator), сток (TOutFlow), турникет (TTurniket), элемент клеточного автомата (TCellularAutomat), измерительный участок (TCounterOfPath). В зависимости от языка программирования и специфики программной реализации, указанные классы находятся в различных отношениях с классом TQNet.

Таким образом, рассмотрены аспекты представления структуры квазиклеточных сетей в памяти ЭВМ.

Остановимся подробнее на аспектах программной реализации в виде комбинации операционного и управляющего автоматов, которое является наиболее близким к физической и программной реализации. Исходя из этого, остановимся подробнее на аспектах программной реализации именно этого подхода. Рассматривая схему операционного автомата (см. рис. 2), нетрудно видеть связь между элементами структуры этого автомата и его работы, а также принципами объектно-ориентированного подхода. Так, блоки памяти (блоки координат, состояний, счётчики) соответствуют полям класса квазиклеточной сети; логика работы управляющего автомата соответствует методу класса, реализующего циркуляцию; дополнительные блоки проверки условий также соответствуют функциональным модулям или отдельным функциям, вызываемым в ходе выполнения метода циркуляции. Таким образом, граф переходов и циклограмма, построенная на его основе фактически задают алгоритм, программно реализуемый в рамках метода циркуляции класса квазиклеточной сети.

Граф переходов, представленный на рис. 3а, фактически соответствует диаграмме состояний на рис. 4. Диаграмма состояний фактически описывает поведение квазиклеточной сети в процессе циркуляции. Однако, в отличие от графа переходов, она представляет собой только принципиальную схему программной реализации циркуляции.

Таким образом, рассмотрены ключевые аспекты представления квазиклеточных сетей и их циркуляции в ЭВМ для программной реализации. Представление квазиклеточных сетей в ЭВМ основано на принципах объектно-ориентированного подхода, предоставляющего возможность задания динамических объектов, для которых характерно наличие свойств и поведения. При проектировании программных средств моделирования наблюдается также иерархия классов, предполагающая представление в виде вложенных объектов базового графа, клеток и элементов квазиклеточных сетей, связанных с клетками (генераторов, стоков, турникетов и др.).

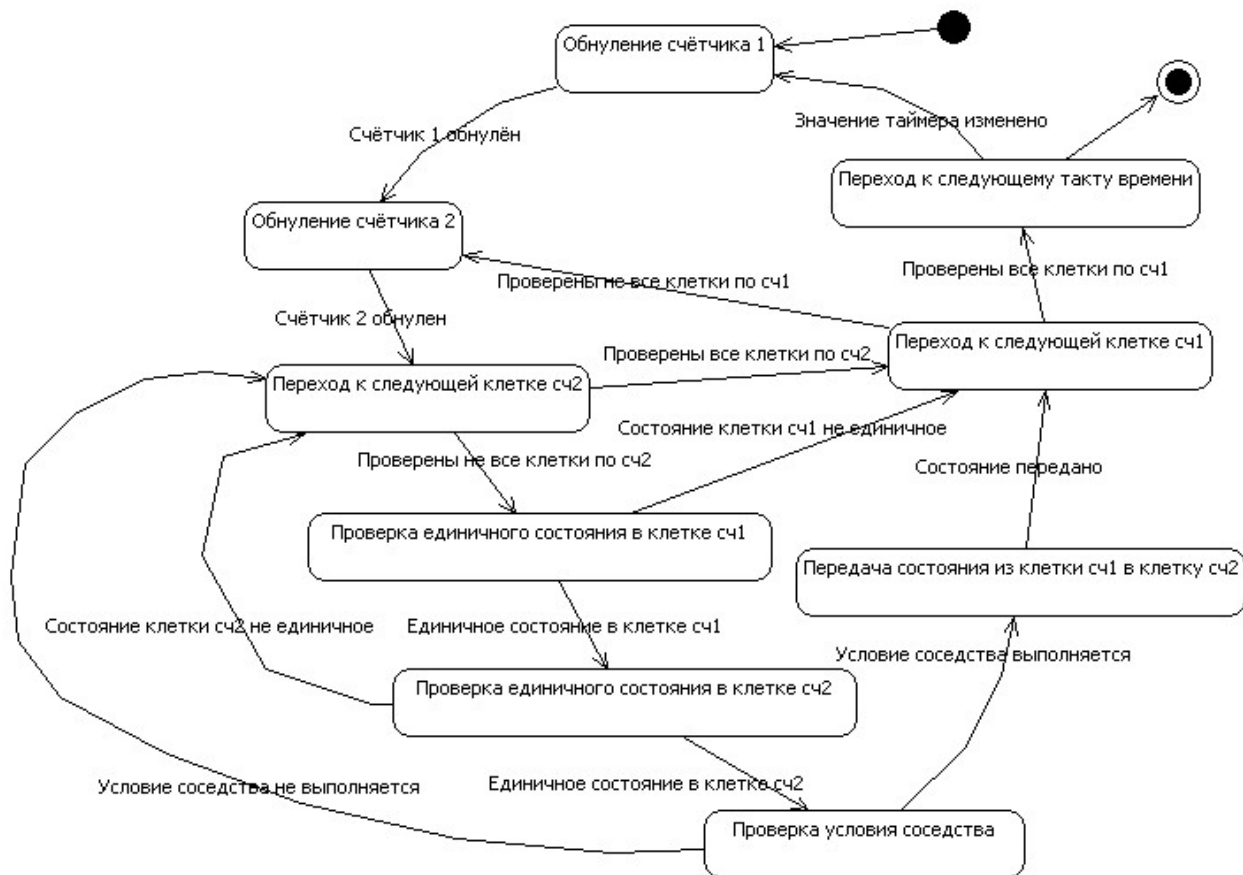


Рис. 4 – Диаграмма состояний для циркуляции в квазиклеточной сети

Обсуждение результатов

В результате работы построены модели реализации работы квазиклеточных сетей. Областью применения полученных дискретных структур является компьютерное моделирование потоковых систем в различных предметных интерпретациях, предполагающих рассмотрение потока как направленного распространения потокообразующих объектов. Преимуществом представленных дискретных структур является реализация в рамках единой структуры моделирования на микро- и макроуровне, что отличает их от других существующих подходов, работающих в рамках только одного уровня. На основе построенной автоматной модели осуществляется проектирование программного обеспечения моделирования квазиклеточных сетей. В частности структура операционного автомата определяет набор данных, используемых в ходе моделирования, а граф переходов для операционного автомата описывает логику работы программного средства моделирования.

Заключение

Таким образом, циркуляция в квазиклеточных сетях согласно тезису Тьюринга соответствует понятию алгоритма, что доказывает реализуемость квазиклеточных сетей на алгоритмических языках программирования. Другой аспект моделирования работы квазиклеточных сетей – их представление в виде комбинации операционного и управляющего автоматов показывает возможности аппаратной и программной реализации. Предложенные выше общие модели показывают связь теории квазиклеточных сетей с моделями теории конечных автоматов.

Список литературы

1. *Норенков, И.П.* Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 336 с.:ил. — (Сер. Информатика в техническом университете).
2. *Рудаков, И.В.* Смирнов А.А. Исследование сложных дискретных систем на базе агентного метода //Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2009. – №. 3. – С. 33-40.
3. *Forrester, J.W.* Some basic concepts in system dynamics //Sloan School of Management Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. – 2009. – 17 p.
4. *Форд, Л.Р., Фалкерсон, Д.Р.* Потоки в сетях. – М.:Мир, 1966 –277с.
5. *Калмыков, Л.В., Калмыков В.Л.* Исследование индивидуально-ориентированных механизмов динамики одновидовой популяции с помощью логических детерминированных клеточных автоматов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2015. – Т. 7 №6. – С. 1279–1293
6. *Альтшуллер, Г.* Творчество как точная наука. Теория решения изобретательских задач. – Петрозаводск: Скандинавия, 2004. — 131с.
7. *Аристов, А.О.* Квазиклеточные сети. Синтез и циркуляция // Горный информационно-аналитический бюллетень №2'2013 — с.125-131
8. *Аристов, А.О.* МЕТОДЫ СИНТЕЗА КВАЗИКЛЕТОЧНЫХ СЕТЕЙ // Научный вестник МГГУ. - 2013. - № 9 (42). - С. 16-21
9. *Аристов, А.О.* Циркуляция в квазиклеточных сетях и их классификация // Горный информационно-аналитический бюллетень №9'2013 — с.188-194
10. *Горбатов, В.А.* Фундаментальные основы дискретной математики — М.:Физматлит, 1999 — 544с.
11. *Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Дж.,* Введение в теорию машин Тьюринга // Введение в теорию автоматов, языков и вычислений = Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation. — М.: «Вильямс», 2002. —528с. — ISBN 0-201-44124-1
12. *Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман, Дж.* Построение и анализ вычислительных алгоритмов. М. – Мир. 1979— 382с.
13. *Вендров, А.М.* Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем — М.:Финансы и статистика, 2006 — 544с.

05.13.01

**В.С. Братыгина, Д.И. Новиков, А.А. Сатаев, Н.В. Герман,
Е.Д. Ермоленко, В.И. Мельников**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики
и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижегород, vbratygina15@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
С ГАЗОНАСЫЩЕННЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ
В МОДЕЛИ ПЕТЛИ СУДОВОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

В работе представлены результаты теплофизических исследований в модели петли судовой ядерной энергетической установки. Основной целью является рассмотрение переходных процессов при изменении мощности. Была исследована устойчивость системы при наличии газовой примеси в основном циркуляционном тракте.

Ключевые слова: *переходный процесс, газонасыщенный теплоноситель, закон Генри, температурные пульсации, газовая компенсация объема.*

Введение. В работе [1] сотрудниками АО ОКБМ «Африкантов» описывается проект новой судовой ядерной энергетической установки (ЯЭУ) РИТМ-200 для перспективного атомного ледокола проекта 10510 «Лидер». В работе описываются недостатки, выявленные в ходе эксплуатации ЯЭУ прошлых поколений. Наибольший интерес представляет проблема, связанная со штатной системой газовой компенсации объема, а именно насыщение теплоносителя газом – азотом. Поскольку судовым ЯЭУ свойственны маневровые режимы с изменением средней температуры, происходит массообмен между объемом сосуда-компенсатора и остальным контуром циркуляции. Поскольку концентрация газа в теплоносителе подчиняется закону Генри, то растворенный при параметрах компенсатора объема ($T=323^{\circ}\text{K}$ и $P_{1к}=13$ МПа) газ будет выделяться в холодильнике фильтра ($T=353^{\circ}\text{K}$ и $P_{1к}=13$ МПа), а так же в пристенном слое ТВЭЛов, где температура близка к температуре насыщения ($T=603^{\circ}\text{K}$ и $P_{1к}=13$ МПа). Это обстоятельство приводит к следующему: во-первых, выделившийся газ, в отличие от пара, не может мгновенно сконденсироваться в потоке. Он обязательно будет сепарироваться, и скапливаться в верхних точках конструкции установки, например в корпусе приводов системы управления и защиты, или под крышкой холодильника фильтра. Это может привести к преждевременному выходу из строя оборудования первого контура. Во-вторых, газовыделение на теплообменных поверхностях приводит к интенсивной коррозии материалов оболочки тепловыделяющих элементов и к снижению критического теплового потока, что представляет угрозу теплотехнической надёжности реакторной установки [3]. По данному вопросу в работе Бараненко и Асмолова [4] представлен обширный теоретический и экспериментальный материал, однако до сих пор нет единого научного описания этих процессов.

Продолжая тему судовых реакторных установок, стоит отметить, что к ним предъявляются серьезные требования по условию работы с интенсивными динамическими режимами с высокой скоростью изменения мощности и без ограничения глубины и количества маневров [5]. В таком случае необходимо проводить исследования динамических характеристик и переходных режимов. Исследование именно этих процессов дополняет рассмотрение статических характеристик. Статические зависимости объекта можно получить, исследуя математическую модель объекта при условии, что все временные производные равны нулю, то есть в предположении отсутствия или постоянства внешних

воздействий [6]. Они обладают ограниченным набором получаемых данных в рамках исследования и не могут в достаточной полноте дать описание происходящих процессов.

Методика эксперимента. Для изучения данных процессов был создан стенд моделирующий петлю реакторной установки. Он представляет собой экспериментальный канал с обогреваемой трубкой в центре. По высоте канала установлены терморезистивные датчики температуры, в центр трубки помещается термопара. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 1.

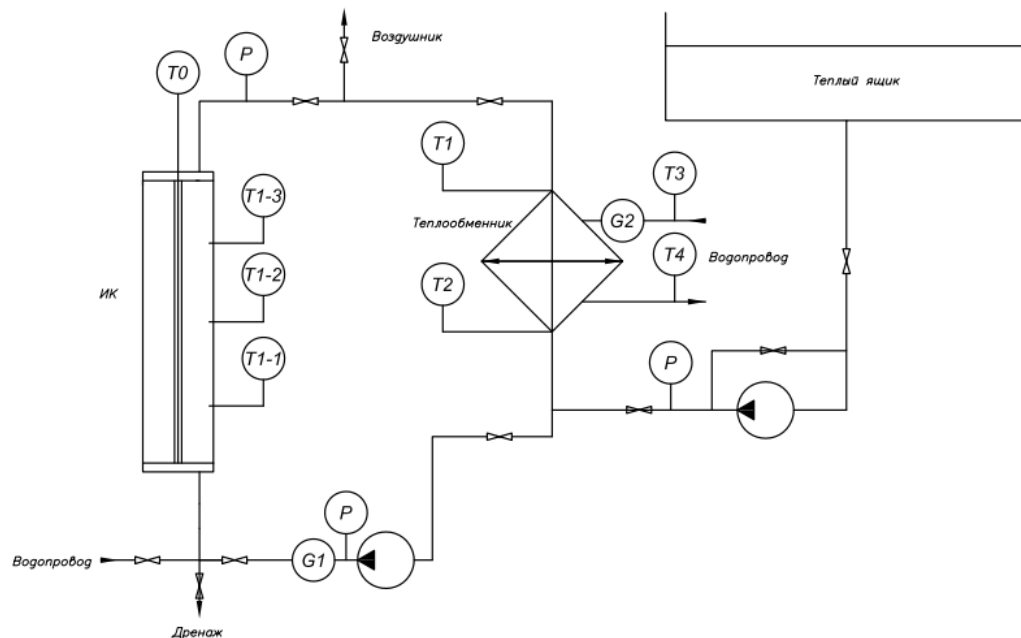


Рис. 1 – Принципиальная схема стенда

Для определения степени влияния газа, целесообразно произвести два эксперимента. Вначале «нормальный» режим вывода установки на мощность с дегазированным теплоносителем, а затем повторение режима уже с газонасыщенным теплоносителем.

Чтобы получить дегазированный теплоноситель, в специальном баке вода была нагрета до температуры насыщения. Затем происходит заполнение стенда, его герметизация и расхолаживание до начальных параметров. При экспериментах с газонасыщенным теплоносителем есть два направления исследования, которые дополняют друг друга. Это реализация вывода мощности, когда газ находится в молекулярно-связанном состоянии и его выделение происходит при изменении параметров теплоносителя, и вывод на мощность, когда часть газа уже выделилась и находится в виде газовых конгломераций. В данной работе реализован второй режим работы. Реализация такого режима следующая: стенд заполняется газонасыщенной водой при давлении 0,6 МПа, затем давление снижается до атмосферного и достигается равновесная концентрация. Схема получения газовой выделенности представлена на рис. 2. Показания температуры теплоносителя, а так же обогреваемой поверхности в соответствующих точках (рис. 1) фиксируются контрольно-измерительной аппаратурой с выводом значений на персональный компьютер.

Результаты эксперимента. Особый интерес представляет переходный процесс, результатом которого является зависимость вида $t(\tau)$. Процесс разогрева и выхода на мощность представлен на рисунке 2.

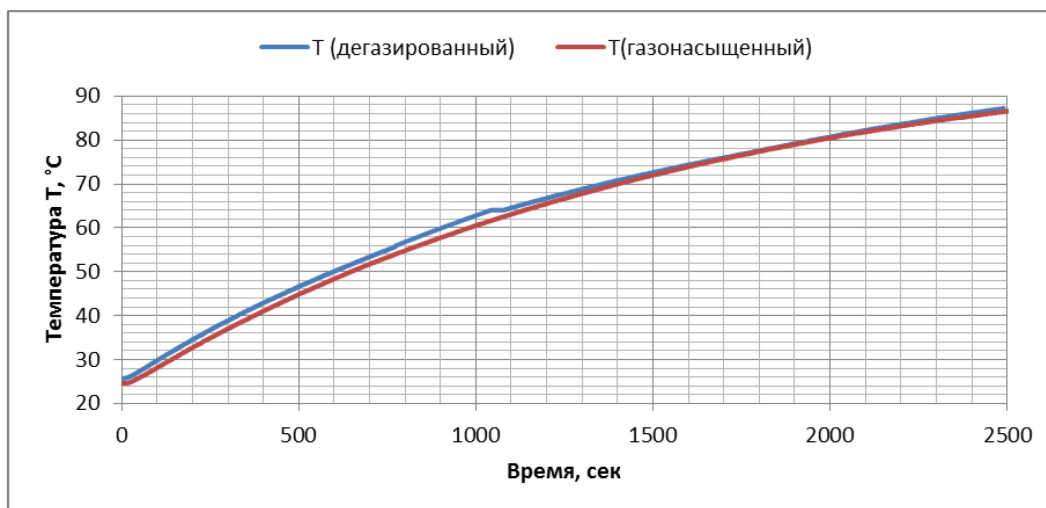


Рис.2 – Процесс нагрева установки

Из рисунка 2 видно, что кривые проходят эквидистантно и скорость развития процессов одинакова. Однако ближе к температуре насыщения, скорость процесса для газонасыщенного теплоносителя незначительно увеличивается. Это связано с выделением газа в пристенном слое теплообменной поверхности. Также внимание стоит уделить устойчивости температурного роста на обогреваемом канале. На рисунках 3 и 4 представлены графики зависимости $t(\tau)$ для обогреваемой поверхности. Для теплоносителя насыщенного газом отмечаются значительные пульсации, что негативно сказывается на ресурсе нагревательного элемента.

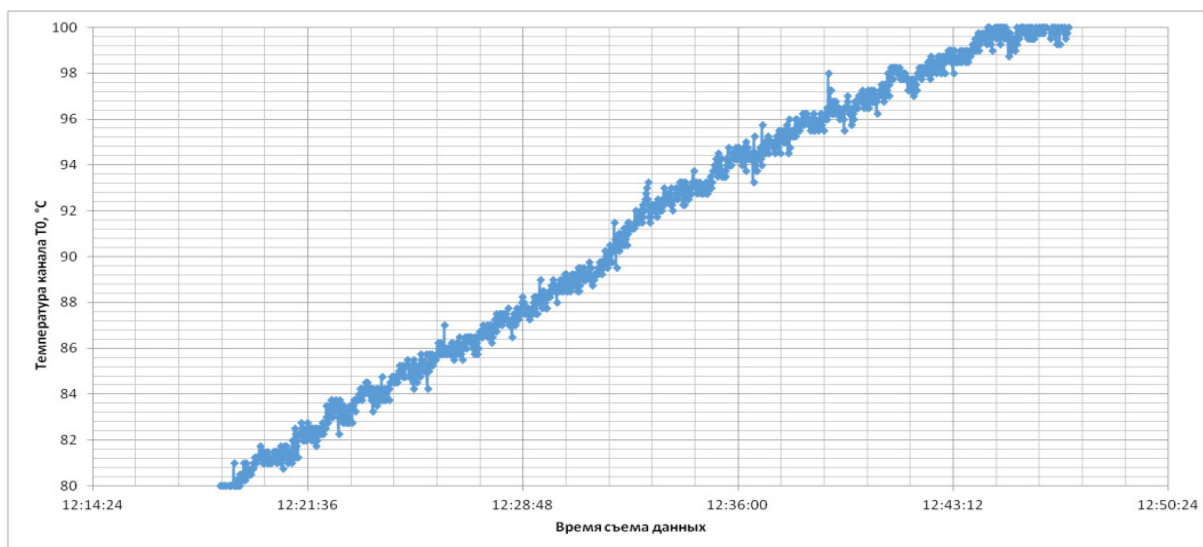


Рис. 3 – Пульсации температуры в дегазированном теплоносителе

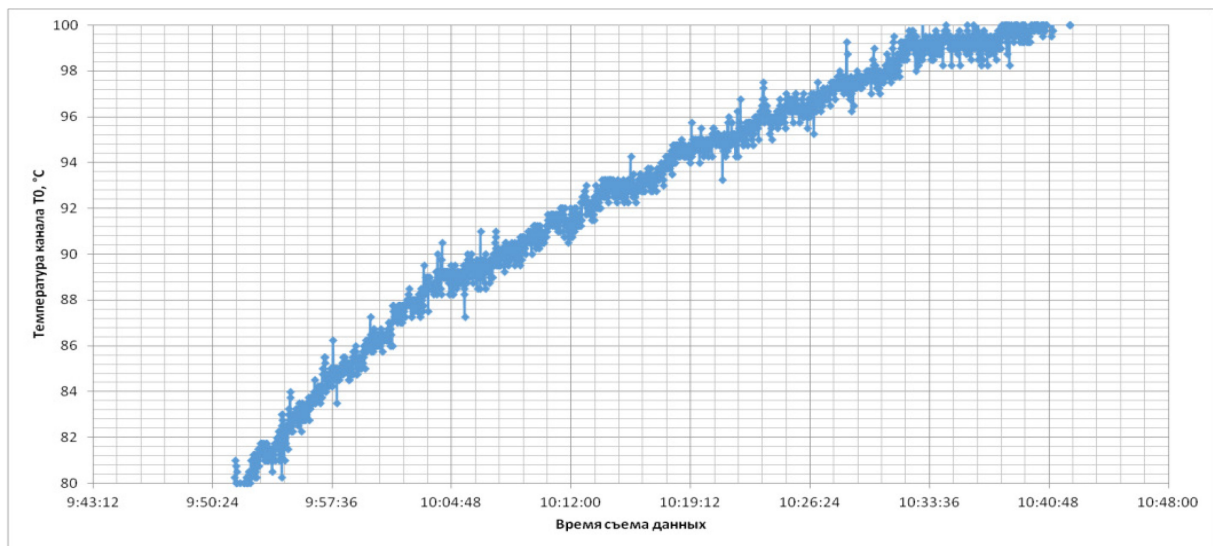


Рис. 4 – Пульсации температуры в дегазированном теплоносителе

Заключение. При обзоре научно-технической литературы, во всех источниках отмечается негативное влияние содержания растворенного газа в теплоносителе на теплогидравлические процессы. Исходя из результатов эксперимента, наличие газовой примеси незначительно влияет на устойчивость динамического процесса. Целесообразно проводить последующие эксперименты и рассматривать переходный процесс с точки зрения смена режима теплоотдачи.

Список литературы

1. Зверев Д.Л., Пахомов А.Н., Полуничев В.И., Вешняков К.Б., Кабин С.В. Реакторная установка нового поколения РИТМ-200 для перспективного атомного ледокола // Атомная энергия. — 2012. — Т. 113, вып. 6. — С. 323-328
2. Васильев Н.В., Зейгарник Ю.А., Ходаков К.А., Федуленко В.М. О природе «газового» кризиса кипения // ТВТ. — 2015. — Т. 53, вып. 6. — С. 881-884
3. Бараненко, В.И. Термодинамика и теплообмен в ЯЭУ с газонасыщенным теплоносителем / В. И. Бараненко, В. Г. Асмолов, В. С. Киров. — Москва : Энергоатомиздат, 1993. — 272 с. — Текст : непосредственный.
4. Кресов, Д.Г. Обеспечение повышенных ресурсных характеристик судовых реакторных установок / Д. Г. Кресов, А. В. Куликов, Е. В. Оленская. — Текст : непосредственный // Атомная энергия. — 2019. — т. 127, вып. 1. — с. 8-13.
5. Митенков, Ф.М. Система автоматического управления / Ф. М. Митенков, В. А. Чирков. — Нижний Новгород : гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2015. — 159 с. — Текст : непосредственный.

05.13.01

¹Зай Яр Вин, ¹Т.А. Морозова, ¹А.В. Старков д-р техн. наук, ²А.А. Тришин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

¹Кафедра «Системный анализ и управление»,

²Кафедра «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов»,
Москва, starkov@goldstar.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДОПОЛНЕНИЯ ГЛОНАСС

Представлены результаты формализации задачи совершенствования структуры орбитальной группировки ГЛОНАСС с учетом требований региональных потребителей. Определена задача разработки облика орбитальной группировки дополнения ГЛОНАСС, обеспечивающей наилучшие характеристики спутниковой навигации региональных потребителей, как совместный выбор проектных параметров орбитальной группировки и стратегии коррекции из условия максимальной доступности. Предложена методика и этапы решения поставленной задачи

Ключевые слова: *ГЛОНАСС, дополнение, высокоорбитальный космический комплекс, облик орбитальной группировки, проектные параметры, методика.*

Необходимость повышения конкурентоспособности ГЛОНАСС приводит к необходимости увеличения доступности к большему числу навигационных космических аппаратов (НКА) за счет включения дополнительных НКА в существующую орбитальную группировку или использованием для этих целей высокоорбитального сегмента. Последнее может быть использовано, если речь идет о повышении функциональных возможностей региональных потребителей. Таким образом, если речь идет о дополнении существующей орбитальной группировки высокоорбитальным космическим комплексом (ВКК), то одной из центральных задач является обоснование рационального орбитального размещения НКА, с учетом проведения, при необходимости, эффективных и экономичных маневров по поддержанию орбитальной структуры.

В качестве системных параметров (критериев), характеризующих степень обеспечения функциональных возможностей потребителей, будем использовать доступность, которая включает в себя: геометрический фактор, интегральную и гарантированную доступности [1]. Одним из наиболее распространенных подходов к решению поставленной задачи является метод последовательных приближений, использующий принцип «от простого к сложному». Согласно этому методу проектирование орбитальной группировки спутниковой системы предполагается проводить в несколько этапов (итераций), используя на каждой последующей итерации все более точную модель системы.

1.Этап. Выбор рациональных параметров структуры орбитальной группировки ВКК.

В первом приближении спутниковая система рассматривается как идеальная. Предполагается, что возмущающие факторы (погрешности выведения, отказы, ошибки исполнения коррекций и др.) отсутствуют. Нет эволюции системы. Нет потребности в управлении. Предполагается также, что параметры спутников и бортовой аппаратуры известны. В этом случае задача проектирования спутниковой системы сводится к выбору параметров орбитальной группировки из условия обеспечения требуемой целевой эффективности.

Решение задачи на данном этапе практически соответствует так называемому «классическому» подходу к проектированию спутниковой системы, когда чисто из геометрических соображений определяется так называемая «минимальная структура» орбитальной группировки.

Структуру орбитальной группировки определяют: общее число КА в ОГ; число плоскостей в ОГ; количество трасс ОГ; число КА, как правило, равномерно проходящих по каждой трассе; географические долготы восходящих узлов (ГДВУ) каждой трассы (или долготы зенитных точек каждой трассы); параметры взаимной синхронизации – сдвиги аргументов широты (аномалий) движения КА из разных трасс. Значения прямого восхождения восходящего узла плоскостей и аргументов широты в плоскостях определяется в соответствии со значениями зенитных точек трасс КА и временем их прохождения КА.

При этом, для анализ каждой структуры ОГ ВКК предлагается использование следующих рассчитываемых характеристик начального орбитального построения:

А. Трассы всех КА орбитальной группировки.

В. Доступность КА со стороны НКУ в режимах «И» и «ИЛИ». Режим «И» предполагает видимость КА одновременно со всех пунктов наземного комплекса управления (НКУ), режим «ИЛИ» - видимость КА хотя бы с одного пункта НКУ.

С. Анализ доступностей на первом витке.

Д. Анализ доступностей по плоскостям орбит, предполагая, что первые три КА находятся в одной плоскостях, остальные – в другой.

Е. Анализ доступности при поэтапном (1, 2, 3, 4, 5, 6) вводе КА в орбитальную группировку.

Ф. Анализ доступности КА ОГ без одного КА, который может быть выведен на техобслуживание.

Результатом этапа является сужение множества допустимых орбитальных группировок, представленных в таблице 1.

2.Этап. Анализ деградации выбранных номинальных структур группировок НКА под воздействием возмущающих факторов различного типа.

Одним из основных требований, предъявляемых к любой из вновь создаваемых или модернизируемых группировок КА, является обеспечение устойчивости параметров их орбит, при которой достигается минимизация энергетических затрат на построение и поддержание заданной структуры системы в течение всего времени ее активного существования [2].

Нарушения структуры орбитальной группировки обусловлены следующими факторами [2,3]: влияние на деградацию ОГ солнечного давления; влияние на деградацию ОГ аномалий геопотенциала Земли (ГПЗ); влияние на деградацию межспутниковых расстояний внутри плоскости гравитационных полей Луны и Солнца; влияние на деградацию межспутниковых расстояний ошибок установки КА в рабочую точку.

В общем случае, нарушения структуры орбитальной группировки могут быть сведены к следующим интегральным показателям: изменению относительного положения (межспутниковых расстояний) отдельных спутников в одной орбитальной плоскости (по аргументу широты, т.е. вдоль орбиты); фазовому расхождению спутников в различных плоскостях (иначе говоря, к относительным групповым сдвигам НКА в различных плоскостях); изменению ориентации каждой орбитальной плоскости относительно других за счет изменения наклонов и относительных значений положения узлов орбит (более строго – прямых восхождений восходящего узла).

Эти, в свою очередь приводит к деградации таких общесистемных параметров доступности. Для компенсации влияния представленных факторов необходимо: провести анализ деградации выбранных номинальных структур; провести исследование пассивного метода по минимизации деградации ОГ за счет упреждающего подбора номинальных параметров группировок; разработать требования по активному поддержанию параметров орбитальных структур.

Методика анализа каждой структуры ОГ ВКК предполагает использование следующих интегральных характеристик:

А. Расчет параметров интегральной доступности на интервале моделирования.

В. Графическое представление параметров доступности для каждой точки заданного региона.

С. Графическое представление параметров доступности для каждой точки заданного региона в случае вывода одного НКА из группировки.

Д. Учет влияния изменения численности в системе за счет возможных отказов спутников и соответствующего восполнения системы путем расчета параметров интегральной доступности для всех вариантов ОГ в зависимости от орбитальной обстановки: функционируют все КА; функционируют все КА, за исключением 1-го КА; функционируют все КА, за исключением 4-го КА.

3. Этап. Определение стратегии проведения коррекций орбитальных параметров для обеспечения требований по поддержанию структуры группировок НКА.

Задачу о выборе управления коррекцией НКА можно отнести к числу наиболее сложных. Алгоритм управления коррекцией предполагает определение моментов проведения коррекций орбиты j -го спутника (или интервалов между коррекциями) и величины корректирующих импульсов. Последние зависят от изменений орбитальных параметров за счет коррекции, которые, в свою очередь, определяются тем, каковы орбитальные параметры перед коррекцией и какими они должны быть после нее.

Варианты ситуаций, когда необходима коррекция: абсолютное отклонение положения спутника на орбите от расчетного более допустимого (определяемого, например, предельным отклонением по времени пролета над заданной точкой); фактическое относительное положение соседних спутников таково, что нарушаются общесистемные требования.

Если нарушение требований к системе связано с абсолютным положением спутника, то необходимость в коррекции зависит только от начальных параметров орбиты спутника и их эволюции. Она никак не связана с численностью спутников в системе, поэтому задачи управления численностью и управления коррекцией можно рассматривать как независимые. В этом случае можно использовать так называемое «жесткое управление», при котором при нарушении некоторых заданных условий происходит коррекция орбитальных параметров, возвращающая спутники в расчетное положение. Такое «жесткое управление» наиболее применимо в тех случаях, когда ограничение накладывается на отклонение от расчетного абсолютного положения спутника.

Если же нарушения возникают из-за недопустимых отклонений в относительном положении спутников, то, очевидно, что чем больше спутников в группировке (или чем выше избыточность по сравнению с минимальной численностью), тем реже нарушаются условия доступности и тем реже нужна коррекция. В этом случае управление численностью НКА и коррекцией взаимосвязаны.

Несмотря на то, что в системном плане второй вариант формирования стратегии коррекций более предпочтителен, в случае нарушения требуемых условий их восстановление возможно различными путями, предполагающими построение новых вариантов орбитальной структуры группировки, которых может быть множество. Строго говоря, выбирать вариант управления при этом нужно, исходя из минимизации общесистемных показателей. Однако установить непосредственную связь между управлением на каждом шаге и выбранными нами показателями не представляется возможным, поэтому приходится возвращаться к «жесткому управлению».

Таким образом, задача разработки облика орбитальной группировки дополнения ГНСС обеспечивающей наилучшие характеристики спутниковой навигации региональной потребителей предполагает совместный выбор проектных параметров орбитальной группировки и стратегии коррекцией из условия максимальной доступности. Это задача многопараметрической оптимизации, и ее непосредственное решение очень затруднено. Тем

не менее, поскольку в нашем случае размерность критерия не велика, то в качестве метода отбора при многокритериальной оптимизации может быть выбран метод Парето [5]. В нашем случае, когда число критериев минимально и равно трем, по-видимому, наиболее эффективным вариантом служит представление всего множества Парето в виде графика, что позволяет проанализировать последствия всех возможных эффективных решений. Это не обеспечивает полного решения задачи, так как по-прежнему остается множество альтернатив, для которых еще необходимо выбрать единственное наилучшее, но существенно сужает их число.

Заключение. Совокупность математических моделей в контексте решения поставленных задач должна позволить рассчитать параметры доступности навигационного сигнала с учетом дополнения ГЛОНАСС ВКК и определить стратегию поддержания орбитальной группировки. Для этого необходимо: сформировать модель эволюции орбиты НКА ОГ; исследовать пассивный метод по минимизации деградации ОГ за счет упреждающего подбора номинальных параметров ОГ; сформировать модели компенсации деградации номинальных орбитальных параметров.

Список литературы

1. Мещеряков В.М., Брагинец В.Ф., Сухой Ю.Г. Архитектура орбитальной группировки ГЛОНАСС, обеспечивающая глобальное выполнение перспективных требований по среднему значению пространственного геометрического фактора // Инженерный журнал: наука и инновации, № 10, 2018, DOI: 10.18698/2308-6033-2018-10-1816
2. Малышев В.В., Старков А.В., Федоров А.В. Орбитальные коррекции космических аппаратов при выполнении динамических операций // Известия РАН. Теория и системы управления, 2013, №2, с.154-166.
4. Malyshev V.V., Starkov A.V., Fedorov A.V. Formation Keeping Strategy for a Quasi-Zenith GLONASS Complement // Advances in the Astronautical Sciences. Volume 161, 2017, p.1129-1140
5. Емельянов А.А., Малышев В.В., Старков А.В., Гришанцева Л.А., Зубкова К.И., Зай Яр Вин Анализ и формирование показателей эффективности в задаче распределения потоков целевой информации при функционировании космических систем ДЗЗ // Научно-технический вестник Поволжья №8 2019, с. 28-31

05.13.01

¹Зай Яр Вин, ¹А.В. Старков д-р техн. наук,
¹А.В. Федоров канд. техн. наук, ²А.А. Тришин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

¹Кафедра «Системный анализ и управление»,

²Кафедра «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов»,
Москва, starkov@goldstar.ru

КОМПЕНСАЦИЯ ДЕГРАДАЦИИ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ДОПОЛНЕНИЯ ГЛОНАСС

Представлены результаты системного анализа и синтеза методов управления трассой навигационных космических аппаратов высокоорбитального космического комплекса дополнения ГЛОНАСС. Выявлены основные закономерности деградации орбитальных группировок и сформулированы предложения по стратегии коррекции для компенсации ухудшения функциональных возможностей.

Ключевые слова: *ГЛОНАСС, дополнение, высокоорбитальный космический комплекс, эволюция орбитальной группировки, управление, компенсация деградации.*

Введение

Повышение конкурентоспособности российской спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС приводит к необходимости увеличения доступности навигационного сигнала в гористой местности, условиях городского каньона и плотной растительности при углах места более 250. Это может быть достигнуто как модернизацией и размещением дополнительных навигационных космических аппаратов (КА) в существующих орбитальных группировках (ОГ), так и за счет использования дополнительного высокоорбитального сегмента. Последнее может быть использовано, если речь идет о повышении функциональных возможностей региональных потребителей. Статья посвящена исследованию деградации космических аппаратов (КА) высокоорбитальной группировки и формированию элементов стратегии компенсации ухудшения функциональных возможностей.

В качестве показателей, характеризующих функциональные возможности потребителя, принимаются интегральная, гарантированная доступности и значение геометрического фактора [1]. Интегральная доступность - осредненная по времени величина доступности двух и более КА в заданном районе. Гарантированная доступность - видимость 0, 1, 2 и более КА за заданный промежуток времени в заданном районе при заданном угле места. Их можно объединить одним понятием «Доступность», а удовлетворения их соответствующим требованиям – условиями доступности.

Нарушения структуры орбитальной группировки обусловлены влиянием на КА следующих факторов: солнечного давления; аномалий геопотенциала Земли; межспутниковых расстояний внутри плоскости гравитационных полей Луны и Солнца; межспутниковых расстояний ошибок установки КА в рабочую точку. Для компенсации влияния представленных факторов необходимо: провести анализ деградации выбранных номинальных структур; провести исследование пассивного метода по минимизации деградации ОГ за счет упреждающего подбора номинальных параметров группировок; разработать требования по активному поддержанию параметров орбитальных структур.

В качестве приоритетных рассматриваются орбитальные построения QZSS, M15 и ГСНО, параметры и структура которых представлена в таблице 1 [2]:

Таблица 1. Параметры структуры ОГ КА

Количество трасс	1, 2
Число КА	4, 6
Число плоскостей	2 (по 2 или 3 КА), 3 (по 2 КА), 4 (по 1 КА), 6 (по 1 КА)
Число зенитных точек	1, 2
Значения географических долгот узлов ($\lambda\Omega$) или зенитных точек	(100 ⁰ ,100 ⁰), (60 ⁰ ,120 ⁰), (60 ⁰ ,130 ⁰), (60 ⁰ ,130 ⁰), (60 ⁰ ,140 ⁰), (50 ⁰ ,140 ⁰)

Регион обслуживания ОГ ВКК ограничен 30 град. в.д., 50 град. с.ш., 170 град. в.д., 90 град. с.ш. Угол места может быть 5, 25 и 40 град.

Анализ эволюции орбитальных группировок

Проведенный анализ выявил следующие закономерности: характер эволюции долготы восходящего узла для каждой трассы одинаков; эволюция эксцентриситета и аргумента перигея одинакова у КА, размещенных в одной и той же орбитальной плоскости.

Результаты оценки доступности КА ОГ представляются как графиками изменения интегральной доступности и гарантированной доступности для различных углов маски на всем сроке активного существования (САС) группировки (рисунок 1), так и сравнением ОГ между собой в конечный момент времени (рисунок 2)

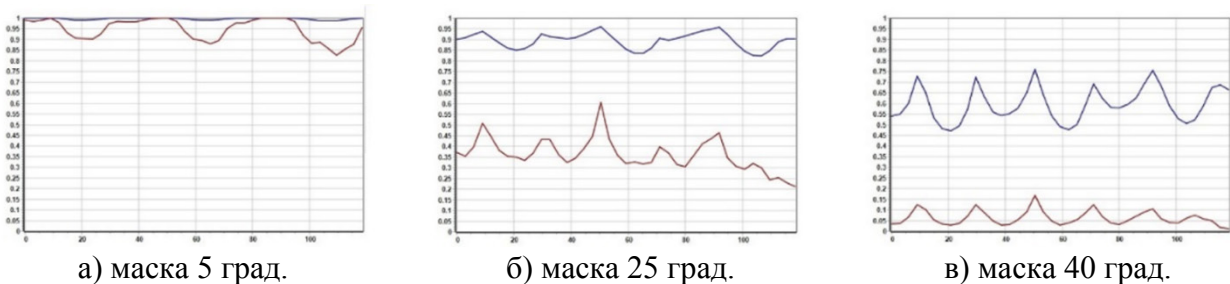


Рис. 1 – Пример ухудшение интегральной и гарантированной доступностей за 10 лет

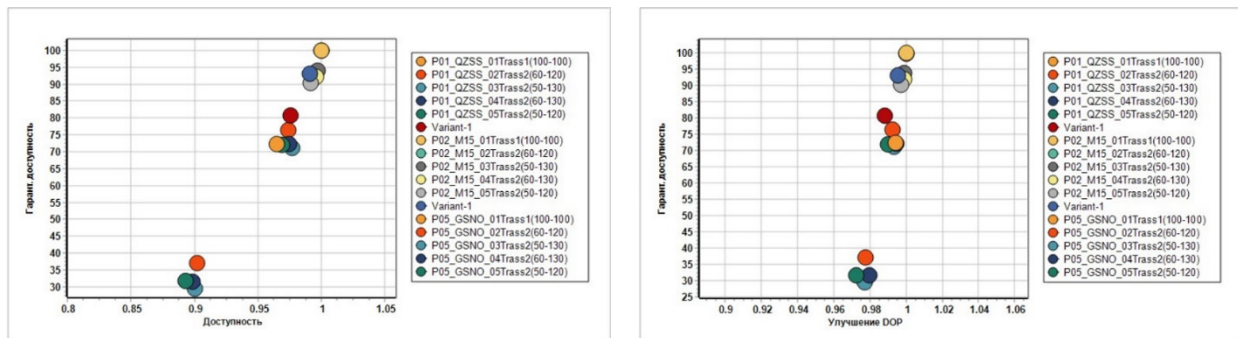


Рис. 2 – Сравнительный анализ ОГ QZSS, M15, ГСНО (маска 25 град.)

Основными факторами, влияющими на ухудшение параметров доступности, являются эволюция долгот восходящих узлов трасс, эксцентриситета, аргумента широты перигея. Поддержание параметров структуры ОГ, обеспечивающих выполнение функциональных требований к ВКК в части навигационных услуг, может быть осуществлено следующими подходами: выбором построения ОГ с учетом индивидуального упреждения номинального значения аргумента широты перигея орбиты каждого НКА; компенсацией изменения параметров гринвичской долготы восходящего узла и эксцентриситета за счет использования корректирующей двигательной установки.

Формирование элементов стратегии коррекции

Стратегия коррекции подразумевает определение совокупности корректируемых параметров орбит, периодичности проведения коррекций и затрат характеристической скорости на весь срок активного существования группировки. Коррекции наклонения орбит и гринвичских долгот восходящих узлов (ГДВУ) спутников на данном этапе исследования не рассматриваются, так как они являются весьма энергозатратными.

Существенное влияние на целевую эффективность ОГ оказывает эволюция долгот восходящих узлов трасс, которые размещены почти симметрично относительно точки устойчивого равновесия (750 в.д.) и колеблются в противофазе, что приводит к их периодическому слиянию или расхождению. Коррекция гринвичской долготы восходящего узла является обязательным элементом стратегии коррекции. Во-первых, ГДВУ существенно влияет на целевые параметры (уходит в основном вся трасса целиком как единое целое). Во-вторых, коррекция ГДВУ связана с относительно небольшими затратами топлива.

Коррекции аргумента перигея необходимы в случае ухудшения целевой эффективности (видимость не менее двух КА из точки на поверхности Земли) из-за отклонения оси трасс от условной вертикали. Коррекция эксцентриситета включает два маневра с целью сохранения драконического периода обращения при постоянстве аргумента перигея. Импульс скорости при коррекции аргумента перигея прикладывается в точках орбиты с истинной аномалией $\pm 90^\circ$. Коррекция включает два маневра с целью сохранения драконического периода обращения при постоянстве эксцентриситета. Вектор импульса скорости $\Delta \mathbf{V}$ в инерциальной системе координат (СК) вычисляется по формуле [3]

$$\Delta \mathbf{V} = \mathbf{M} \Delta \mathbf{V}_{ORB},$$

где $\Delta \mathbf{V}_{ORB}$ – вектор импульса скорости в орбитальной системе координат, \mathbf{M} – матрица перехода между орбитальной и инерциальной СК.

Компоненты вектора скорости $\Delta \mathbf{V}_{ORB}$ определяются следующим образом

$$\Delta \mathbf{V}_{ORB} = \begin{pmatrix} \Delta \dot{X}_R \\ \Delta \dot{Y}_L \\ \Delta \dot{Z}_N \end{pmatrix} = \Delta V \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \end{pmatrix},$$

где $\Delta \dot{X}_R$ – проекция импульса на радиус-вектор (R), $\Delta \dot{Y}_L$ – проекция импульса на нормаль к радиусу вдоль орбиты, $\Delta \dot{Z}_N$ – проекция импульса на бинормаль, ΔV – модуль корректирующего импульса скорости, α и β – углы, задающие направление вектора импульса в пространстве.

Полагается, что направление импульса всегда трансверсальное. Тогда $\alpha=0$, $\beta=\pm \pi/2$, причем положительное значение β соответствует импульсу вдоль вектора орбитальной скорости, а отрицательное – против него.

Удержание ГДВУ

ГДВУ трасс ОГ совершают долгопериодические колебания с периодом до четырех лет. В начальный момент времени трассы с ГДВУ меньше 750 в.д. дрейфуют на восток, а трассы с ГДВУ больше этой величины – на запад. Такое поведение может приводить к тому, что на какой-то период срока активного существования двухтрассовая ОГ превращается в однотрассовую.

Пусть $\Delta \lambda_m$ – допустимое отклонение ГДВУ трассы от номинального значения λ_0 . Удержание ГДВУ заключается в реализации цикла [3], схема которого показана на рисунке 3 для случая, когда номинальная ГДВУ лежит западнее точки $\lambda_1 \approx 75^\circ$. Если λ_0 лежит справа от точки $\lambda_1 \approx 75^\circ$, то картина будет противоположной.

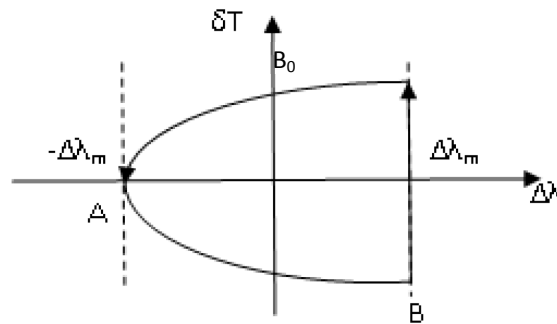


Рис. 3 – Схема цикла удержания ГДВУ:

A – точка условного начала процесса удержания, B – точка коррекции, $\Delta\lambda$ – отклонение ГДВУ от номинального значения λ_0 , δT – отклонение драконического периода обращения от номинального значения $T_{\Omega 0}$, $\Delta\lambda_m$ – допустимое отклонение ГДВУ от λ_0 .

Начало системы координат процесса находится в точке, соответствующей номинальному периоду и номинальной долготе начальной орбиты. В начальный момент времени КА находится на номинальной орбите, а ее ГДВУ равна $\lambda_0 \pm \Delta\lambda_m$. Знак «+» соответствует дрейфу долготы в западном направлении. При достижении точки B следует провести коррекцию периода обращения. В случае наклонных орбит при учете гравитации Луны и Солнца для управления коррекцией ГДВУ необходимо строить закон управления с учетом не только гармоник геопотенциала Земли, но и возмущений от Луны и Солнца.

Для оценки потребного количества коррекций и характеристической скорости необходимо найти номер витка выхода в точку B и значение ΔT потребного приращения периода обращения. С учетом потребного приращения периода обращения по осредненной формуле можно определить потребный импульс скорости [3]

$$\Delta T = 2k(T_{\Omega B} - T_{\Omega 0}),$$

$$\Delta V_{\lambda} = \frac{V_o}{3T_{\Omega B}} \Delta T,$$

где V_o – орбитальная скорость на опорной орбите.

Предлагаемая стратегия удержания ГДВУ справедлива для всех КА, формирующих одну и ту же трассу. Для каждой трассы формируется одна общая стратегия.

Удержание эксцентриситета

Эксцентриситет требуется удерживать в диапазоне $e \in [e_H, e_B]$. Как показали результаты моделирования, эволюция эксцентриситета практически одинакова у всех КА, размещенных в одной и той же плоскости. При этом, в зависимости от начальной инерциальной долготы восходящего узла, он монотонно растет, монотонно убывает. Встречаются ситуации, когда имеется весьма длительный участок его роста/убывания, за которым следует участок убывания/роста. В некоторых случаях на всем САС он принадлежит заданному интервалу. Допустим, что начальный эксцентриситет орбит каждой плоскости соответствует нижней или верхней границе интервала его удержания в зависимости от характера будущей эволюции. Цель коррекции – изменить текущий эксцентриситет на величину, равную по модулю $\Delta e = e_B - e_H$. Если на интервале САС эксцентриситет орбит некоторой плоскости принадлежит диапазону удержания, коррекция не требуется. Для определения характеристической скорости используются соотношения влияния трансверсального импульса на эксцентриситет [3]

$$\Delta e = \begin{cases} -(1-e_0) \left(\pm 2 \frac{\Delta V_e}{V_A} + \frac{\Delta V_e^2}{V_A^2} \right) & \text{если коррекция в апогее} \\ (1+e_0) \left(\pm 2 \frac{\Delta V_e}{V_{II}} + \frac{\Delta V_e^2}{V_{II}^2} \right) & \text{если коррекция в перигее} \end{cases}$$

где ΔV_e – характеристическая скорость коррекции эксцентриситета, V_A и V_{II} – скорость в апогее (перигее) в момент коррекции, e_0 – эксцентриситет орбиты в момент коррекции, знак \pm соответствует увеличению или уменьшению эксцентриситета, а абсолютная необходимая характеристическая скорость равна:

$$\Delta V_e = 0.5 \frac{\Delta e V_A}{1 - e_0}$$

Удержание аргумента широты перигея

Стратегия удержания аргумента перигея ω в диапазоне $\omega \in [\omega_H, \omega_B]$ в целом аналогична стратегии удержания эксцентриситета. Цель коррекции – изменить текущий аргумент перигея на величину, равную по модулю $\Delta\omega = \omega_B - \omega_H$. Если на интервале САС аргумент перигея орбит некоторой плоскости принадлежит диапазону удержания, коррекция не требуется. Для определения необходимой характеристической скорости трансверсального импульса скорости, прикладываемого в точках орбиты с истинной аномалией 0.5π или 1.5π при постоянстве эксцентриситета, используются зависимости [3]

$$\Delta\omega = -\Delta\mathcal{G},$$

$$\Delta\mathcal{G} = -\mathcal{G}_0 + \arccos \frac{1}{e_0} \left[\frac{\left(\sin \delta_0 + \frac{\Delta V_\omega}{V_0} \right)^2}{\sin^2 \delta_0} (1 + e_0 \cos \mathcal{G}_0) - 1 \right],$$

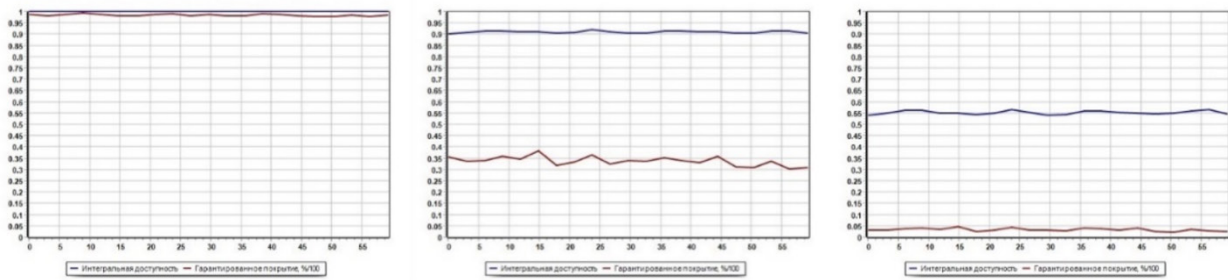
где δ_0 – угол между радиус-вектором и вектором скорости КА, \mathcal{G}_0 – истинная аномалия в точке приложения импульса, e_0 – эксцентриситет, V_0 – орбитальная скорость КА на опорной орбите, ΔV_ω – величина характеристической скорости трансверсального импульса коррекции аргумента широты, модуль необходимой характеристической скорости:

$$\Delta V_\omega = 0.5 e_0 V_0 \sin \Delta\omega$$

Начальный аргумент широты орбит каждой плоскости соответствует нижней или верхней границе интервала его удержания в зависимости от характера будущей эволюции. С помощью прогноза неуправляемого движения КА ОГ находим момент (номер витка) N_3 выхода на противоположную границу интервала удержания аргумента перигея в каждой орбитальной плоскости. При этом считается, что этот момент один и тот же для всех КА рассматриваемой плоскости. Если на интервале САС аргумент широты орбит некоторой плоскости принадлежит диапазону удержания, коррекция не требуется.

Оценка функциональных возможностей с учетом коррекции

Оценка проведена с использованием специализированного программно-математического обеспечения, методика и принципы построения которого представлены в [4,5]. Для предложенного варианта поддержания характеристик орбит спутников ОГ формирование стратегии коррекции компенсирует ухудшение функциональных характеристик региональных потребителей (Рисунок 4), что позволяет сделать вывод о возможности использования высокоорбитальной группировки в качестве дополнения существующих ОГ.



а) маска 5 град.

б) маска 25 град.

в) маска 40 град.

Рис. 4 – Характеристики доступности при компенсации эволюции ОГ

Заключение

В рамках данной статьи сформирована стратегия коррекции орбит группировки на периоде активного существования с целью эффективного обеспечения высокоорбитальной группировкой функциональных возможностей региональных потребителей. Предложены варианты поддержания параметров в заданных пределах: ГДВУ, эксцентриситета, аргумента широты перигея. Показана возможность существенного повышения параметров доступности при использовании рассмотренной стратегии коррекции.

Список литературы

1. Мецзяков В.М., Брагинец В.Ф., Сухой Ю.Г. Архитектура орбитальной группировки ГЛОНАСС, обеспечивающая глобальное выполнение перспективных требований по среднему значению пространственного геометрического фактора // Инженерный журнал: наука и инновации, № 10, 2018, DOI: 10.18698/2308-6033-2018-10-1816
2. Malyshev V.V., Starkov A.V., Fedorov A.V. Formation Keeping Strategy for a Quasi-Zenith GLONASS Complement // Advances in the Astronautical Sciences. Volume 161, 2017, p.1129-1140
3. Мальшев В.В., Старков А.В., Федоров А.В. Орбитальные коррекции космических аппаратов при выполнении динамических операций // Известия РАН. Теория и системы управления, 2013, №2, с.154-166.
4. Мальшев В.В., Старков А.В., Федоров А.В. Методика разработки программно-моделирующего комплекса для отработки средств проведения динамических операций космических аппаратов // Электронный журнал «Труды МАИ», 2012, № 57.
5. Мальшев В.В., Старков А.В., Федоров А.В. Программно-моделирующий комплекс для отработки средств проведения динамических операций космических аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012, №9, Москва: Издательский дом «СПЕКТР», с. 7-12.

05.13.01

В.И. Полуничев, Е.П. Мошарина

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,

Образовательно-научный институт ядерной энергетики
и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижний Новгород, ms.mosharina@mail.ru

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ. ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

В данной работе приведена краткая информация об опыте использования атомной энергии в арктической зоне России, ее влиянии на экологию региона.

Ключевые слова: *судовая и малая атомная энергетика, реакторная установка, экология, безопасность.*

Состояние атомной энергетики в мире

Лидером по доле генерации электроэнергии на АЭС в общем балансе страны является Франция - 70%. В Венгрии, Словакии и на Украине она составляет примерно 50 %, в Бельгии – 40 %. Более 30 % имеют Швеция, Финляндия, Болгария, Чехия и Словения, 23 % Швейцария. В США и России на атомную энергетику приходится 19 % общего производства электроэнергии. Китай и Япония имеют 47 и 9 реакторов соответственно. В 2019 году в мире работало 417 реакторов, 28 находились на долгосрочном хранении [1]. После аварий на АЭС в Чернобыле и Фукусиме отношение населения к атомной энергетике несколько ухудшилось. Основные причины – боязнь радиационных воздействий, вредных выбросов и радиоактивных отходов. Многочисленные фундаментальные научные исследования показывают, что вредные воздействия на окружающую среду АЭС крайне малы. Реакторные установки постоянно совершенствуются, повышается их надежность и безопасность. Эти объективные обстоятельства воспринимается мировой общественностью положительно, количество сторонников атомной энергетики в последнее время возрастает. В России продолжается активное строительство атомных станций типа ВВЭР, бурными темпами ведется создание атомных ледоколов нового поколения. Сдана в промышленную эксплуатацию первая в мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС). Разрабатываются проекты наземных атомных станций малой мощности.

Судовое направление атомной энергетики

Россия имеет огромные прибрежные и морские территории в Арктике, которые требуют поставок топлива, материалов, продуктов. Эти вопросы не решались без участия атомных ледоколов, обеспечивающих стабильное функционирование арктической транспортной системы в Арктике. Начиная с 1950-х годов инженерами АО «ОКБМ Африкантов» разработано четыре поколения реакторных установок для гражданских атомных судов. Более 60 лет двадцать реакторных установок блочного типа КЛТ-40 обеспечивали надежную работу девяти ледоколов и лихтеровоза в сложных арктических условиях. Суммарная наработка составила около 400 реакторо-лет. За этот период накапливался опыт эксплуатации, база знаний для поэтапного совершенствования судовых реакторных установок. В ходе эксплуатации в условиях жестких маневренных режимов атомных ледоколов достигнут ресурс основного оборудования РУ 200 тыс.ч и срок службы более 30 лет при продолжительности непрерывной работы установки более года. При этом за 60 лет эксплуатации не отмечено каких-либо инцидентов на реакторных установках с нарушением радиационных условий для персонала или населения.

В настоящее время наблюдается интенсивный рост грузопотока по Северному морскому пути (СМП). В соответствии с планами развития атомного ледокольного флота в короткие сроки должно быть построено пять универсальных ледоколов и три ледокола-лидера мощностью 60 и 120 МВт соответственно. Для этих ледоколов созданы новые реакторные установки интегрального типа РИТМ-200 и РИТМ-400 с использованием современных инновационных решений, которые позволили повысить безопасность [2].

Первая в мире плавучая атомная теплоэлектростанция в Певеке.

Основным компонентом плавучей атомной теплоэлектростанции является плавучий энергоблок «Академик Ломоносов», в состав которого входят две реакторные установки КЛТ-40С, разработанные АО «ОКБМ Африкантов» [3] (рис 1).



Рис. 1 – Плавучая атомная теплоэлектростанция в Певеке

Базовыми конструктивными решениями, реализованными в проекте, являются: применение наиболее освоенного в мировой практике корпусного водо-водяного реактора и объединение основного оборудования в компактный парогенерирующий блок с помощью силовых патрубков. Оборудование КЛТ-40С унифицировано или является близким аналогом образцов, которые прошли длительную проверку на надежность в условиях, характеризующихся качкой, ударными нагрузками, вибрацией, высокой маневренностью, повышенным уровнем надежности. Системы безопасности доведены до требований современной нормативной документации.

Радиационная безопасность ПАТЭС

Компоновочные решения по биологической защите гарантируют отсутствие превышения регламентных уровней излучения, безопасность персонала и населения, а также защиту окружающей среды. В качестве материалов биологической защиты использованы простейшие и доступные компоненты: сталь, бетон и вода. Конструктивно биологическая защита выполнена в виде металлического бака с водой и блоков сухой защиты. Защитная оболочка – герметичная конструкция, которая рассчитана на давление, возникающее при разгерметизации первого контура. Внутри ее расположены реактор, а также все оборудование и трубопроводы с радиоактивным теплоносителем. Внешнее ограждение совместно с судовыми корпусными конструкциями дополняют защиту. Плавучий энергоблок эксплуатируется на площадке периодами по 10–12 лет, в промежутках между ними транспортируется на специализированное предприятие для ремонта. За время его нахождения в пункте базирования все работы по обращению с радиоактивными элементами проводятся только на плавучем энергоблоке. КЛТ-40С располагает многократно резервированными активными и пассивными защитными системами, которые построены с учетом принципа разнообразия конструкций и механизмов действия. Пассивные системы безопасности функционируют в результате естественных законов (гравитации, конденсации, конвекции) без потребления электроэнергии и воды извне и вмешательства персонала. Для обеспечения радиационной безопасности между топливной композицией активной зоны и окружающей средой на пути возможного распространения радиоактивных компонентов предусмотрен последовательный ряд контролируемых независимых физических и локализирующих барьеров, к которым предъявлены жесткие требования по степени их герметичности (рис. 2).

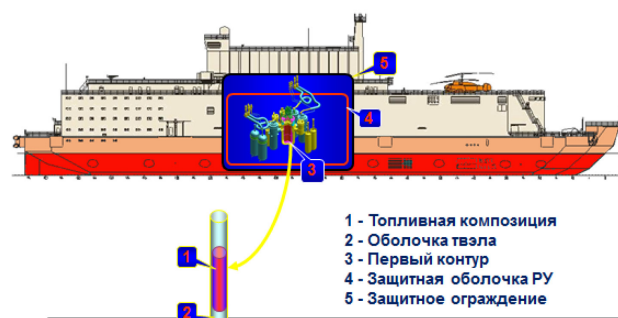


Рис. 2 – Схема барьеров радиационной безопасности на ПАТЭС

Первый барьер – оболочки твэлов – контролируется нормированием объемной активности теплоносителя первого контура, постоянно измеряемый средствами радиационного технологического контроля.

Второй защитный барьер – система первого контура. Контроль герметичности всего тракта системы первого контура постоянно осуществляется средствами радиационного технологического контроля.

Третий барьер – защитная оболочка. Степень герметичности определяется утечкой паровоздушной среды при максимальной проектной аварии и не превышает 1 % объема в сутки.

Четвертый защитный барьер – внешнее ограждение – окружает защитную оболочку и смежные с ней помещения и герметичен по отношению к помещениям станции и окружающей среде. Защитное ограждение служит для отвода возможных утечек летучих радиоактивных веществ из расположенных внутри него помещений. Их удаление производится через фильтры в атмосферу по каналам вентиляции с непрерывным контролем объемного и суммарного выброса радиоактивности

Радиационное воздействие ПАТЭС на население и окружающую среду при нормальной эксплуатации и проектных авариях не вносит заметного вклада в естественный радиационный фон. Суммарный годовой выброс в атмосферу радиоактивных газов не превышает 10 Ки, а доза облучения населения не превышает 0,01 мбэр/год при среднем естественном радиационном фоне 240 мбэр/год. При снятии с эксплуатации после окончания срока службы плавучий энергоблок транспортируется к месту проведения утилизации с сохранением состояния «зеленая лужайка» района эксплуатации ПАТЭС.

Экологическая безопасность ПАТЭС

Для сопоставления ядерной энергии с органическими видами топлива наглядной является величина полной энергии деления, содержащейся в 1 г U235, равная 0,9 МВт-сутки. ПАТЭС по сравнению со станциями идентичной мощности на органическом топливе (мазуте или каменном угле): экономит 300 тыс. условного топлива в год и сохраняет 400 млн м³ кислорода воздуха в год, не выбрасывает в атмосферу вредные вещества (сернистый ангидрид, окислы азота, пятиокись ванадия и др), обычные отходы локализуются и перерабатываются в экологическом блоке станции. По экологическим показателям ПАТЭС обладает несомненными преимуществами перед энергоисточниками на органическом топливе, которые в основном используются в Арктическом регионе. ПАТЭС – экологически чистый источник. Первая в мире плавучая атомная станция введена в промышленную эксплуатацию. 22 мая 2020 г.

Список литературы

1. Наука и техника: атомная энергетика и экологическая безопасность / URL: <https://naukatehnika.com/atomnaya-energetika.html>
2. Зверев Д.Л., Фадеев Ю.П., Пахомов А.Н., Галицких В.Ю., Полуничев В.И., Вешняков К.Б., Кабин С.В., Турусов А.Ю. Реакторные установки для атомных ледоколов. Опыт создания и современное состояние. // Атомная энергия . – 2020 . – т. 29, № 1 . – с.29-37.
3. Беляев В.М., Большухин М.А., Пахомов А.Н., Хизбуллин А.М., Лепехин А.Н., Полуничев В.И., Вешняков К.Б., Соколов А.Н., Турусов А.Ю. Опыт создания РУ для первой в мире плавучей АЭС. Направления дальнейшего развития. // Атомная энергия . – 2020 . – т. 29, № 1. – с.37-43.

05.13.01

И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов

Кубанский государственный технологический университет,
институт компьютерных систем и информационной безопасности,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Краснодар, polinga@bk.ru, frangiz_khisamov@rambler.ru

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРОВЕДЕНИЕ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В данной статье рассмотрены основные нормативно-правовые документы, регламентирующие пусконаладочные работы в РФ, требования к их выполнению. Также в статье выявлены неосвещенные современной нормативно-правовой базой вопросы, одним из которых является признание расходов на пусконаладочные работы, неотраженность которых приводит к двойным способам признания расходов и не нравится современным производителям. Также современная нормативная база не определяет некапитальный характер расходов на пусконаладочные работы.

Ключевые слова: *пусконаладочные работы, расходы, электрооборудование, эксплуатация, испытания, монтаж, наладка.*

Актуальность данной темы исследования объясняется тем, что современные пусконаладочные работы (ПНР) в РФ в данный момент являются достаточно неизученной темой, чем объясняется новизна работы. В последние годы было введено много нормативных документов, регулирующих пусконаладку, многие из которых повторяют соответствующие документы советского периода. Несовершенная нормативная база опускает двойные трактовки ключевых моментов пусконаладочных работ и вызывает вопросы со стороны производителей ПНР.

Цель данной работы – исследование современной нормативно-правовой базы, регулирующей пусконаладочные работы, выявить их недостатки и пути совершенствования.

Пусконаладочные работы – это комплекс работ, которые выполняются в период подготовки к эксплуатации объектов капитального строительства при их вводе в эксплуатацию, строительстве, реконструкции или капитальном ремонте. Задачами пусконаладочных работ является обнаружение вероятных ошибок проектных и строительно-монтажных работ и выявление недочетов в работе оборудования до начала его эксплуатации на объектах капитального строительства.

Пусконаладочные работы являются заключительной частью строительно-монтажных работ.

Пусконаладочные работы регулируются различными нормативно-правовыми документами. К основным документам относятся:

- «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. Строительные нормы и правила. СНиП 3.05.05-84» (утвержден Постановлением Госстроя СССР от 07.05.84 № 72), зарегистрированный Росстандартом 18.07.2011 г. в качестве СП 75.13330.2011, который определяет правила монтажа и порядок проводимых для оборудования испытаний, а также порядок производства пусконаладочных работ [1];

- Свод правил СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства» Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85 (утвержденные приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. № 955/пр) регулирует монтаж и наладку электротехнических устройств [2];

- Свод правил СП 77.13330.2016 «Системы автоматизации». Актуализированная редакция СНиП 3.05.07-85, утвержденные приказом Минстроя России от 20 октября 2016 г. № 727пр,

(введен в действие с 21 апреля 2017 г.) регулирует производство и приемку работ по монтажу и наладке систем автоматизации (контроль, управление и автоматическое регулирование) технологических процессов и инженерного оборудования [3];

- Свод правил СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» (с Изменениями № 1, 2, 3), утвержденный приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 августа 2016 г. № 602/пр и введенный в действие со 2 марта 2017 г., определяет порядок проведения пусконаладочных работ соответствующих систем и оборудования [4];

- «Правила устройства электроустановок», утвержденные приказом Минэнерго от 08.07.2002 № 204, также регулирует порядок проведения соответствующих пусконаладочных электротехнических работ [5];

Весь комплекс пусконаладочных работ, определенный соответствующими техническими нормативными правовыми актами, определен в «Методические рекомендации по разработке сметных норм на монтаж оборудования и пусконаладочные работы», утвержденных приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 сентября 2019 г. № 511/пр [6].

Так каковы же основные проблемы, возникающие при проведении пусконаладочных работ в наше время? Пусконаладочные работы – это достаточно затратная часть ввода в эксплуатацию объекта, на которой часто заказчики хотят сэкономить. К сожалению, современные ученые уделяют мало внимания проблемам современных работ ввода в эксплуатацию.

К основным проблемам пусконаладочных работ при приеме в эксплуатацию жилых и нежилых зданий и сооружений относится, прежде всего, несовершенная законодательная база. Большинство современных сводов правил и СНиП являются переименованными или актуализированными редакциями соответствующих СНиП СССР восьмидесятых годов, созданных более тридцати лет назад, которые соответственно не могут учитывать и содержать ответы на многие вопросы современных пусконаладочных работ, обусловленные рыночной экономикой.

К одним из таких спорных вопросов является признание расходов на пусконаладочные работы. В каких случаях расходы на выполнение пусконаладочных работ относятся к амортизации имущества, а в каких признаются единовременно? До 2011 года до выхода Письма Минрегиона России от 13.04.2011 № ВТ-386/08 был определен порядок отнесения затрат на пусконаладочные работы в сметной документации, прописанный в Письме Госстроя России от 27.10.2003 № НК-6848/10. Теперь расходы на пусконаладочные работы «вхолостую» учитываются в первоначальной стоимости объекта основных средств, а расходы «под нагрузкой» списывают на прочие расходы в том же периоде. Или же все расходы на проведение пусконаладочных работ учитывают как текущие. При этом возможны проблемы со стороны контролирующих налоговых органов. Двоякость ситуации не нравится ни отечественным, ни иностранным производителям, у которых и так много проблем из-за различия в требованиях к оформлению отчетности [7].

Также современная нормативная база не определяет некапитальный характер расходов на пусконаладочные работы. Работы некапитального характера направлены на комплексное тестирование («под нагрузкой») всех машин и механизмов, на пробную эксплуатацию, с пробным выпуском продукции.

Выводы. Таким образом, необходимо совершенствовать законодательную базу, создавать или дорабатывать современные нормативные акты, регулирующие выполнение пусконаладочных работ. Необходимо законодательно закрепить ответы на наболевшие вопросы, раз и навсегда определить, как учитывать расходы на пусконаладочные работы, тем самым, решив проблемы пусконаладочных организаций. Желательно сделать ГЭСНп-2020 не рекомендательным, а обязательным для всех, а не только для организаций, использующих в строительстве средства государственного бюджета или целевых внебюджетных фондов, тем самым, повысив качество современного строительства.

Список литературы

1. «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. Строительные нормы и правила. СНиП 3.05.05-84» (утв. Постановлением Госстроя СССР от 07.05.84 № 72), зарегистрированный Росстандартом 18.07.2011 г. в качестве СП 75.13330.2011; URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200025> (дата обращения: 18.12.2020);
2. Свод правил СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства» Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85 (приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. № 955/пр); URL: <http://docs.cntd.ru/document/456050591> (дата обращения: 18.12.2020);
3. Свод правил СП 77.13330.2016 «СНиП 3.05.07-85 Системы автоматизации» (Приказ Минстроя России от 20 октября 2016 г. № 727/пр) от 21.04.2017; URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044317> (дата обращения: 18.12.2020);
4. Свод правил СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» (с Изменениями № 1, 2, 3), утвержденный приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 августа 2016 г. № 602/пр, введен в действие со 2 марта 2017 г., URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения: 18.12.2020);
5. Правила устройства электроустановок», утвержденные приказом Минэнерго от 08.07.2002 № 204; URL: <http://docs.cntd.ru/document/456072457> (дата обращения: 18.12.2020);
6. «Методические рекомендации по разработке сметных норм на монтаж оборудования и пусконаладочные работы», утвержденные приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 сентября 2019 г. № 511/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564039250> (дата обращения: 18.12.2020);
7. Панкин П.А., Комкова А.В. Особенности применения государственных элементных сметных норм на пусконаладочные работы // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 10-1. – С. 99-99.

05.13.01

¹О.А. Рокачевский, ^{2,3}В.В. Слепцов д-р техн. наук, ³А.Е. Аблаева, ³Динь Ба Фыонг¹ООО НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ»,²ИМАШ им. А.А.Благодирова,³МИРЭА – Российский технологический университет, ИКБСП,
кафедра «Приборы и информационно-измерительные системы»,
Москва, vsleptsov@gmail.com, Anna_Ablaeva@mail.ru

СИНТЕЗ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНАТОЙ ВЫСОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КВАДРОКОПТЕРА

В статье изложен пример синтеза контура управления координатой информационно-измерительной и управляющей системы квадрокоптера, способного мониторить различные объекты с целью их охраны и контроля.

Ключевые слова: *квадрокоптер, сила тяги, передаточная функция, регулятор положения.*

В настоящее время широкое распространение получили квадрокоптеры (КК) – летательные аппараты с четырьмя несущими винтами, все маневры которых осуществляются путем изменения скорости вращения винтов [1].

Область применения квадрокоптеров гражданского назначения очень широка – от сельского хозяйства до сектора безопасности.

Одна из важнейших проблем при проектировании КК – проектирование информационно-измерительной и управляющей системы квадрокоптера (ИИУС КК), являющейся совокупностью технических средств и программного обеспечения, осуществляющей сбор и обработку измерительной информации о квадрокоптере и выработку необходимых управляющих воздействий на него. Рассмотрим особенности решения этой проблемы. Кинематическая схема 4-х осевого квадрокоптера представлена на рис.1.

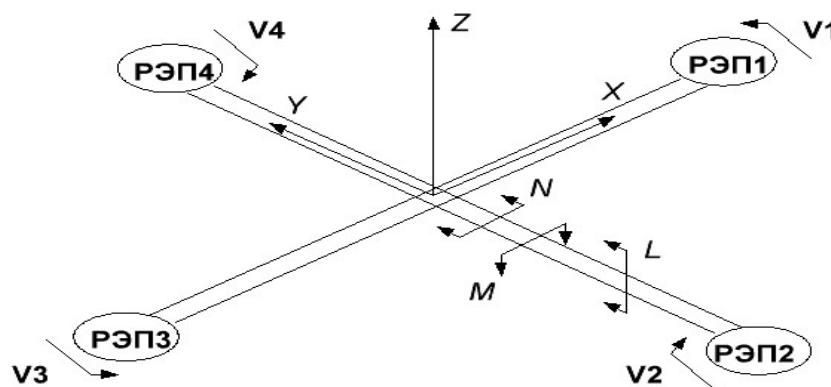


Рис. 1 – Кинематическая схема квадрокоптера

Здесь X, Y, Z – оси координат центра тяжести КК; L, M, N – параметры ориентации (крена, тангажа и рыскания) КК; РЭП1 – РЭП4 – регулируемые по скорости электроприводы; $V1-V4$ – скорости вращения выходных валов электродвигателей РЭП.

В настоящее время делаются попытки использовать различные современные методы для разработки высокоэффективных ИИУС КК с использованием нейронных сетей, кватернионов и т.д. [2,3], однако из-за отсутствия системного подхода к проектированию наблюдается отсутствие взаимосвязи в разработках алгоритмов управления, исполнительных систем и датчиков параметров. Для понимания возникающих проблем при проектировании ИИУС КК авторами были проанализированы линеаризованные дифференциальные уравнения движения квадрокоптера [4], представленные ниже [5]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = K_{mx} \times M - \frac{dx}{dt} \times K_x \tag{1}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = K_{ly} \times L - \frac{dy}{dt} \times K_y \tag{2}$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = K_{zz} \times (u_1 + u_2 + u_3 + u_4) - \frac{dz}{dt} \times K_z \tag{3}$$

$$\frac{d^2L}{dt^2} = K_l \times (u_4 - u_2) \tag{4}$$

$$\frac{d^2M}{dt^2} = K_m \times (u_3 - u_1) \tag{5}$$

$$\frac{d^2N}{dt^2} = K_n \times (u_1 - u_2 + u_3 - u_4) \tag{6}$$

$$U_i = V_i^2 \tag{7}$$

Приняты следующие обозначения: K_x, K_y, K_z – коэффициенты аэродинамического сопротивления по соответствующим координатам; X, Y, Z – координаты центра тяжести квадрокоптера; L, M, N – параметры крена, тангажа и рыскания; K_{mx}, K_{ly} – коэффициенты взаимовлияния координат КК; K_l, K_m, K_n, K_{zz} – коэффициенты тяги по координатам КК.

Уравнения показывают взаимосвязь элементов ИИУС КК и позволяют проводить анализ и синтез контуров управления с использованием их декомпозиции. Особенностью ИИУС является следующая организация контуров: 1) два независимых контура (по координатам Z и N); 2) два встроенных друг в друга контура (по координате X с подчиненным контуром по координате M и по координате Y с подчиненным контуром по N).

Покажем особенности синтеза контуров регулирования отдельных координат КК на примере координаты Z (регулирование высоты).

Сила тяги винтов, скорости которых регулируются соответствующими регулируемым по скорости электроприводами (РЭП), пропорциональны квадратам скоростей вращения [4].

С учетом вышеизложенного структурная схема контура управления ИИУС КК по координате z при управлении лишь по высоте может быть представлена как на рис.2.

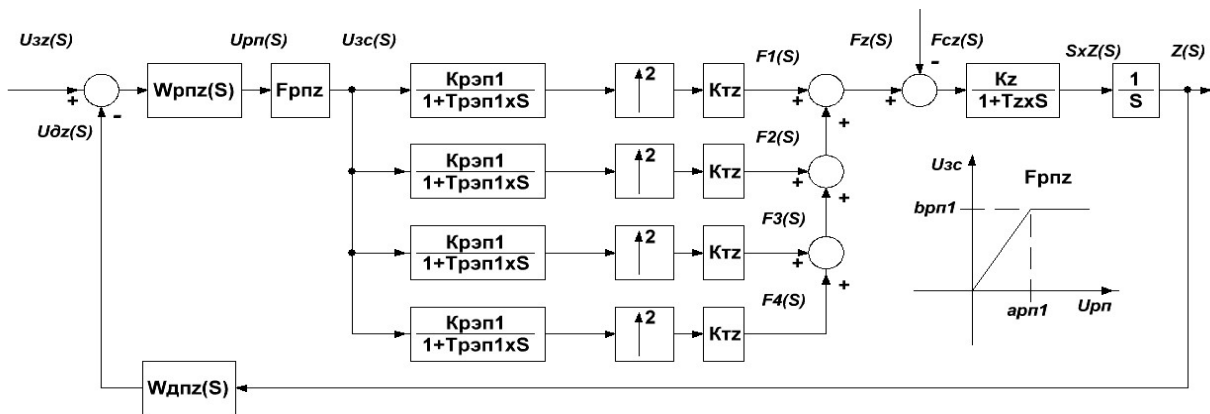


Рис. 2 – Структурная схема контура управления ИИУС КК по координате z

Приняты следующие обозначения: $W_{pnz}(S)$ – передаточная функция регулятора положения по координате z ; F_{pnz} – нелинейность регулятора положения; $K_{рэпi}$ – коэффициент передачи РЭП i ($i = 1..4$); $Trэпi$ – постоянная времени РЭП; $W_{дпз}(S)$ – передаточная функция датчика положения по координате z ; $U_{zz}(S), U_{dz}(S)$ – изображения по Лапласу соответственно сигналов задания положения и с датчиков положения по координате z ; $U_{zc}(S)$ – изображения по Лапласу сигнала задания скорости по координате z ; $F_z(S), F_{cz}(S)$ – изображение по Лапласу соответственно тяги и силы сопротивления по координате z ; K_z, T_z – соответственно коэффициенты тяги и постоянная времени механизма, F_{pnz} – нелинейность регулятора положения.

Следует отметить, что вид и параметры регуляторов во многом определяются видом и параметрами элементов, входящих в контур. При этом особенно важно то, что серьезной

задачей для малоразмерных квадрокоптеров является уменьшение влияния на движение КК ветровой нагрузки (на модели сила F_c).

С целью уменьшения влияния на движение КК ветровой нагрузки (отражаемой на модели силой F_{cz}) при определении передаточной функции $W_{pz}(S)$ следует контур положения настраивать на симметричный оптимум [6]. В этом случае:

$$W_{pz}(S) \times \frac{4 \times K_{рпi}}{1 + T_{рпi} \times S} \times K_{Tz} \times \frac{K_z}{1 + T_z \times S} \times \frac{1}{S} \times W_{дпz}(S) = \frac{1 + 4 \times \tau \times S}{8 \times \tau^2 \times S^2 \times (1 + \tau \times S)} \quad (8)$$

При использовании безинерционного датчика положения ($W_{дп}(S) = K_{дп}$) имеем при $\tau = T_{рпi}$:

$$W_{pz}(S) = \frac{0,03(1 + 4 \times T_{рпi} \times S) \times (1 + T_z \times S)}{K_{рпi} \times K_z \times K_{Tz} \times K_{дп} \times T_{рпi}^2 \times S} = \frac{K_{рп} \times (1 + T_{рп1} \times S) \times (1 + T_{рп2} \times S)}{S} \quad (9)$$

Это передаточная функция ПИД-регулятора. В случае использования инерционного датчика положения для настройки контура положения на симметричный оптимум потребуется исполнение регулятора в виде последовательно соединенных ПИД и ПД регуляторов, что практически неосуществимо. Поэтому в работе влияние Тдп анализировалось при моделировании.

С целью проверки полученных результатов, было проведено математическое моделирование контура управления ИИУС опытного образца КК по координате z при перемещении на 1 м при следующих параметрах: $K_{рп} = 20$ (В×с)/рад; $T_{рп} = 0.003$ с; $K_{Tz} = 0.0012$ (Н×с²)/рад²; $K_z = 0.015$ с/кг; $T_z = 0.05$ с; $K_{дп} = 1$; $T_{дп1} = 0.001$ с.; $T_{дп2} = 0.1$ с.

Результаты моделирования контура при позиционном управлении, т.е. при $U_{pz} = 1(t)$ и возмущающем воздействии $F_{cz} = 20$ Н и $F_{cz} = 30$ Н (действие ветровой нагрузки), для различных Тдп представлены на рис.3.

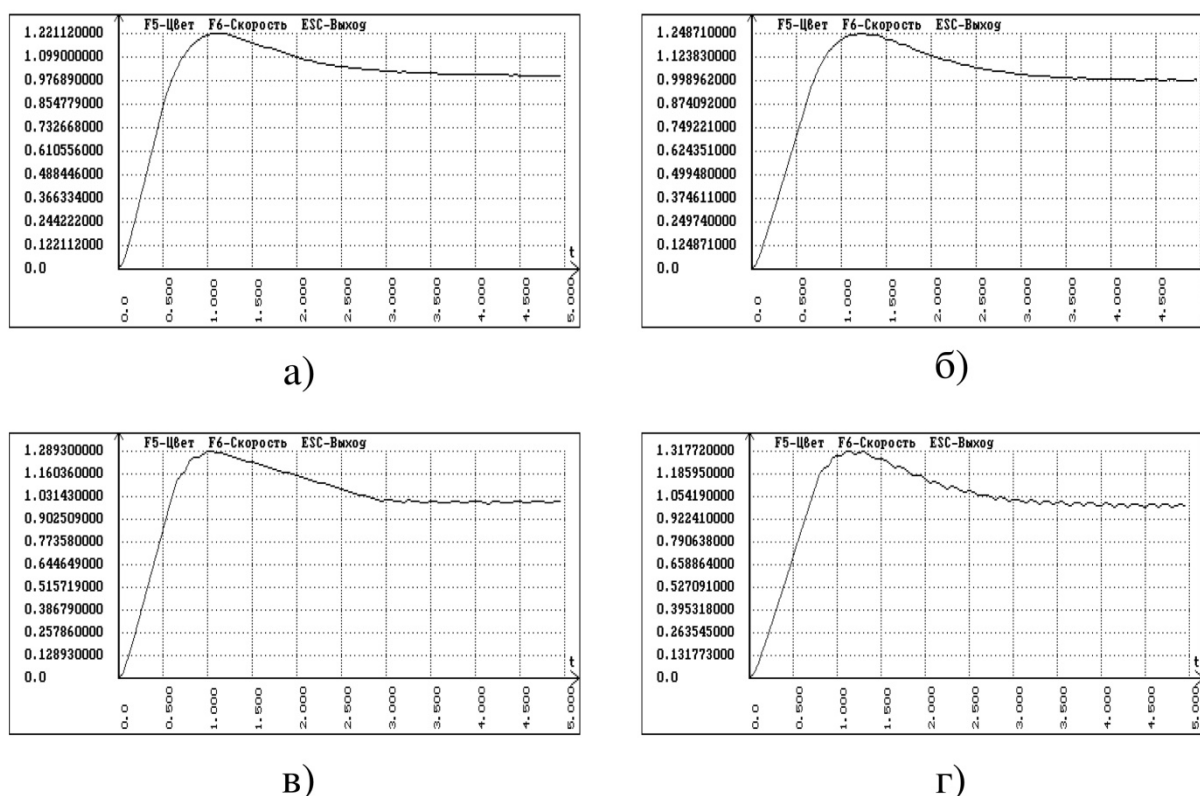


Рис. 3 – Переходные процессы в контуре управления: $T_{дп} = 0.001$ с при $F_{cz} = 20$ Н (а) и $F_{cz} = 30$ Н (б); $T_{дп} = 0,1$ с, при $F_{cz} = 20$ Н (в) и $F_{cz} = 30$ Н (г)

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

– инерционный датчик положения незначительно ухудшает технические характеристики контура – увеличивается перерегулирование на 8% (увеличивающееся при нагрузке – до 10%) и появляются незатухающие колебания с частотой ~3 Гц и амплитудой до 0.02 м;

– применение систем с ПИД - регулятором положения позволяет обеспечить приемлемое качество переходных процессов (перерегулирование контура менее 40%);

– ветровая нагрузка незначительно ухудшает технические характеристики контура – увеличивается перерегулирование до 10% и увеличиваются незатухающие колебания с частотой ~3 Гц амплитудой до 0.03 м.

Список литературы

1. *Michael D.S.* Simulation and control of a quadrotor unmanned aerial vehicle. URL: uknowledge.uky.edu/gradschool_theses/93 (дата обращения 12.11.2020).
2. *Логачев В.Г., Минин И.В.* Метод стабилизации положения и управления КК в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров// Фундаментальные исследования.-2015, №11-1, – С.85-91.
3. *Ющенко А.С., Лебедев К.Р., Забихафар С.Х.* Система управления КК на основе адаптивной нейронной сети. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э.Баумана, №7, 2017. – С.262-267.
4. *Колотов М.Е., Смирнова Т.А.* Декомпозиция линейной модели квадрокоптера. // Молодой ученый.- №13(117), 2016 г.
5. *Слепцов В.В., Гришняев И.А., Динь Ба Фьонг.* Основные задачи проектирования информационно-измерительных и управляющих систем квадрокоптеров. Сборник трудов по итогам научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники», вып. VII, Самара, 2020. – С.34-37.
6. *Афонин В.Л., Подзоров П.В., Слепцов В.В.* Обработывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры. М.: Учебное пособие. Издательство МГТУ СТАНКИН, Янус-К, 2006. – 452 с.

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

05.13.06

Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский

Пермский национальный исследовательский университет,
Электротехнический факультет,
кафедра Микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, nataly-anv@mail.ru,
Национальный исследовательский университет ИТМО,
Мегафакультет компьютерных технологий и управления,
Факультет систем управления и электротехники,
Санкт-Петербург, andrievsky@niuitmo.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРОЙ В АППАРАТЕ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА**

В статье рассмотрена система автоматического управления температурой в аппарате воздушного охлаждения (АВО). Сформулирована необходимость исследования методов синтеза САУ как на типовых, так и на нечетких регуляторах. Разработан нечеткий регулятор температуры в АВО. Представлены результаты моделирования САУ с типовым и нечетким регулятором при различных режимах функционирования аппарата воздушного охлаждения.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения газа, система автоматического управления температурой газа, математическая модель объекта управления, типовые регуляторы, нечеткий регулятор.

Процесс охлаждения в аппарате воздушного охлаждения (АВО) является одним из важных этапов в технологическом процессе транспортировки газа по трубопроводам. Поддержание постоянной температуры – основное назначение АВО – продиктовано как особенностями технологического процесса, так и безопасностью, уменьшением энерго- и материальных затрат [1, 2].

Сложность разработки системы управления температурой в аппарате воздушного охлаждения газа обусловлена тем, что в АВО протекают процессы разной природы: электромеханические, теплообменные, аэродинамические. Таким образом, объект исследования может быть охарактеризован, как сложный, нелинейный нестационарный процесс [2, 3]

При построении математической модели теплообменных процессов (ТОП) в АВО используются следующие модели [3, 4]:

$$W_o(p) = -\frac{K_o}{T_o p + 1} \quad (1)$$

$$T_{ВЫХ} = (T_{ВХ} - T_{НВ}) \cdot \exp \left\{ -A \cdot \left(\frac{n_0}{n_H} \right)^{1/\beta} \right\} + T_{НВ} \quad (2)$$

Система управления температурой газа в АВО может быть представлено следующей структурной схемой (рис. 1)

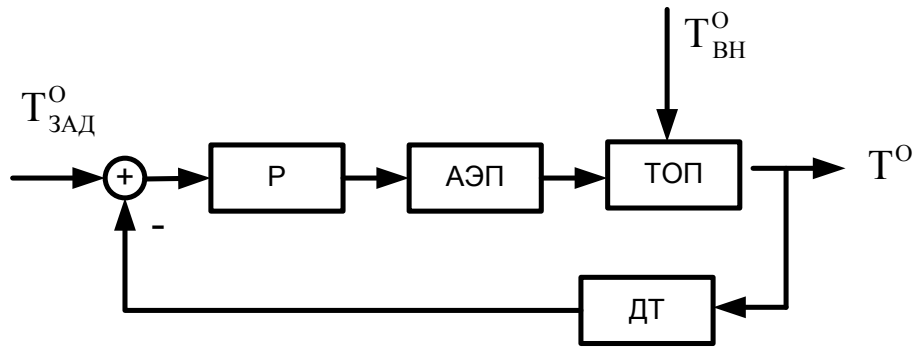


Рис. 1 – Структурная схема системы управления температурой газа в аппарате воздушного охлаждения

В структурной схеме представлены Р - регулятор температуры газа, АЭП – автоматизированный электропривод (приведенная модель преобразователя частоты, двигателя и вентилятора); преобразователь частоты; ТОП - теплообменные процессы в АВО; ДТ – датчик температуры.

Для построения системы автоматического управления температурой газа в АВО были предложены два подхода [5, 6]:

- использование типовых регуляторов;
- использование нечеткого регулятора.

В качестве типового регулятора используется ПИД-регулирование, настройка на биномиальную форму (так как в системе управления нежелательно перерегулирование) [6]:

$$W_P(p) = K_{PI} + \frac{K_I}{p} + K_D p$$

Нечеткое управление реализовано в виде нечеткого ПИ-регулятора (рис. 2)

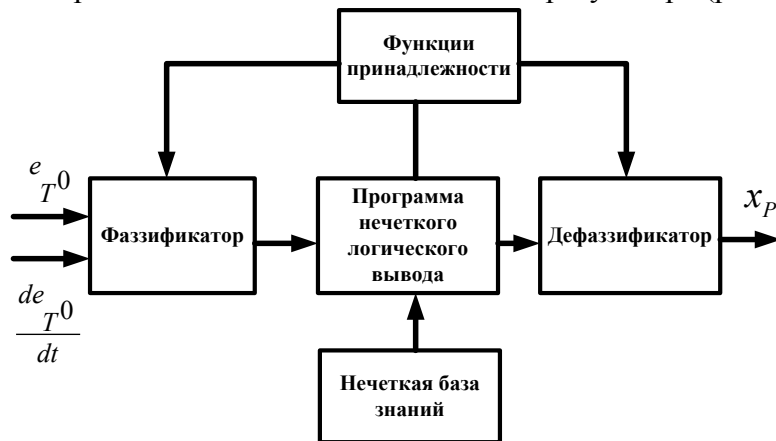


Рис. 2 – Структура нечеткого регулятора

Входными и выходными переменными нечеткого регулятора является отклонение температуры в АВО от заданной (e_{T^0}), скорость изменения ошибки ($\frac{de_{T^0}}{dt}$), управляемый сигнал (x_P) рассчитан на основе обеспечения идеального процесса охлаждения в АВО. Расчет нечеткого регулятора осуществлялась с помощью ANFIS-редактора MATLAB.

Лингвистическая переменная e_{T^0} представлена 3 термами (малая, средняя, большая). $\frac{de_{T^0}}{dt}$ - 3 термами (отрицательная, нулевая, , положительная), управляющий сигнал x_P - 3 термами

(малое отрицательное, ноль, малое положительное). [7, 8]

Исследование проводилось для моделей (1) и (2) с использованием типового и нечеткого регулятора. Результаты представлены на рис. 3, 4 (1 – САУ с ПИД-регулятором, 2 – САУ с нечетким регулятором)

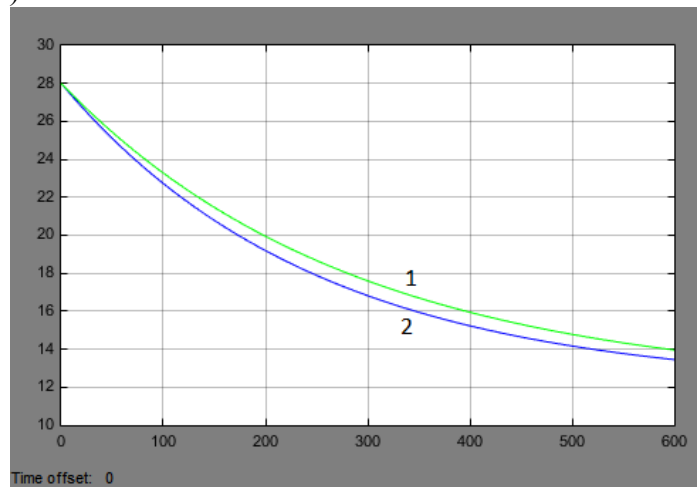


Рис. 3 – Графики переходных процессов изменения температуры газа в АВО (модель ТПО – (1))

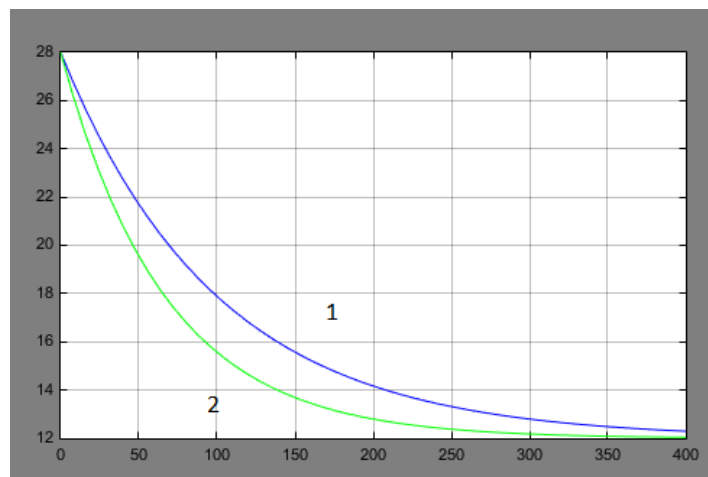


Рис. 4 – Графики переходных процессов изменения температуры газа в АВО (модель ТПО – (2))

Моделирование показало, что модель ТПО в виде нелинейной зависимости дает лучшее приближение к реальности протекания процессов, чем апериодическое звено. Поэтому дальнейшие исследования проводились для нелинейной модели ТПО. В качестве плана эксперимента были рассмотрены изменение температуры внешней среды, изменение температуры газа. Результаты моделирования показали, что в изменяющихся условиях нечеткий регулятор обладает гибкостью и лучше адаптируется к изменению возмущающих воздействий (рис. 5)

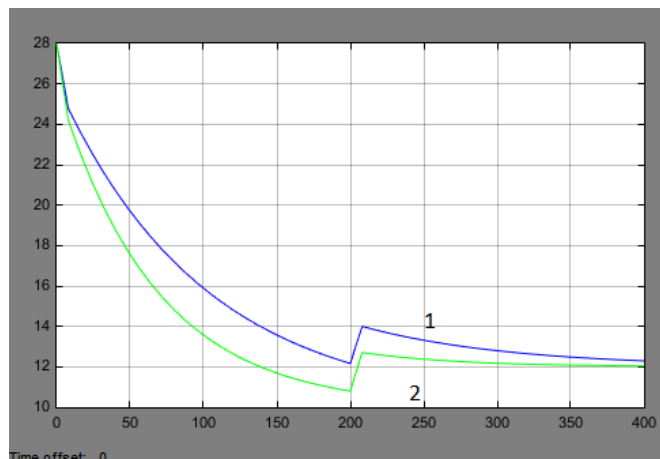


Рис. 5 – Графики переходных процессов изменения температуры газа в АВО при возникновении возмущений

Таким образом, по результатам исследований можно сделать вывод, что при проектировании САУ температурой в аппарате воздушного охлаждения необходимо в качестве модели теплообменных процессов использовать нелинейную зависимость, как наиболее адекватную реальным процессам, а в качестве управления – нечеткий регулятор, который обладает свойствами адаптивности по отношению к процессам, протекающим в АВО, и к изменению внешних условий

Список литературы

1. Алимов С.В., Лифанов В.А., Миатов О.Л. Аппараты воздушного охлаждения газа: опыт эксплуатации и пути совершенствования // Газовая промышленность. 2006. №6. С.54-57.
2. Сидягин А.А., Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения: учеб. пособие/ А.А. Сидягин, В.М. Косырев. – Н.Новгород: НГТУ, 2009. – 150 с
3. Бахтегореева, А.Н. Оперативный способ регулирования температуры газа на выходе из компрессорной станции/. Н.А. Гаррис, В.Г. Гильванов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. №6. –С. 441.
4. Раскошинский В.О., Андриевская Н.В. Математическая модель аппарата воздушного охлаждения газа // Научно – технический вестник Поволжья. – 2018. - № 4. – С.149-151.
5. Андриевская Н.В., Раскошинский В.О. Система управления процесса охлаждения газа в аппарате воздушного охлаждения // Научно – технический вестник Поволжья. – 2018. - № 12. – С.185-188.
6. Андриевская Н.В., Резников А.С., Черанев А.А. Особенности применения нейро-нечетких моделей для задач синтеза систем автоматического управления // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 1445–1449.
7. Андриевская Н.В., Андриевский О.А, Друян Е.В. Анализ устойчивости систем с нечетким управлением.// Международная конференция по мягким вычислениям, 2018. Т. 1. С. 326-329
8. Sedova N.A., Sedov V.A., Dudareva O.V., Bazhenov R.I., Lavrushina E.G. An Autosteering gear system with a fuzzy regulator by a neural network GEAR NETWORK// Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019. 2019. С. 197-202.

05.13.06

П.О. Князева

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, knyzeva.polina@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДООЧИСТКИ НА ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

В статье представлена автоматизация процесса водоочистки фильтровальной станции предприятия Пермского края. Приведен алгоритм управления автоматического поддержания уровня воды в резервуарах с питьевой водой и реализация верхнего уровня технологического процесса водоочистки.

Ключевые слова: *фильтровальная станция, алгоритм управления клапаном, водоочистка, мнемосхема процесса приготовления питьевой воды.*

Введение

На сегодняшний день автоматизация технологических и производственных процессов является актуальной задачей для значительной части предприятий во всех отраслях промышленности. Автоматизированные системы помогают повысить качество производственных процессов и в значительной степени увеличить их эффективность.

Крайне важно поддерживать качество очистки воды на должном уровне и, следовательно, необходимо совершенствовать систему подачи очищенной и обеззараженной воды. Данная проблема связана с тем, что растут производственные масштабы, увеличивается число работников предприятия, расширяются участки изготовления и выпуска продукции. Вода, производимая на фильтровальной станции предприятия, идет на питьевые нужды работников, необходимо следить за тем, чтобы она удовлетворяла требованиям СанПиН, таким как цветность, мутность, водородный показатель, содержание железа, общая жесткость и т.д. [1]. Поскольку со временем состояние источника водоснабжения может меняться, необходимо адаптировать процесс водоочистки к данным изменениям.

Описание автоматизированного процесса водоочистки

Перед тем, как насосной станцией первого подъема, состоящей из трех глубинных насосов, вода источника водоснабжения предприятия подается в трубопровод фильтровальной станции, многопараметрический зонд Aqua TROLL® 600 и анализатор цветности ColorPlus 2 производят анализ параметров качества воды в соответствии с нормами СанПиН. Это необходимо для автоматического расчета массы реагентов и ввода в технологический процесс при помощи дозировочного агрегата.

Согласно схемы автоматизации процесса водоочистки (рис.1) обрабатываемая вода качается в нижнюю часть смесителя. Далее вода с введенными в нее реагентами поступает в карман, а оттуда на осветлители. После осветления вода фильтруется на скорых фильтрах.

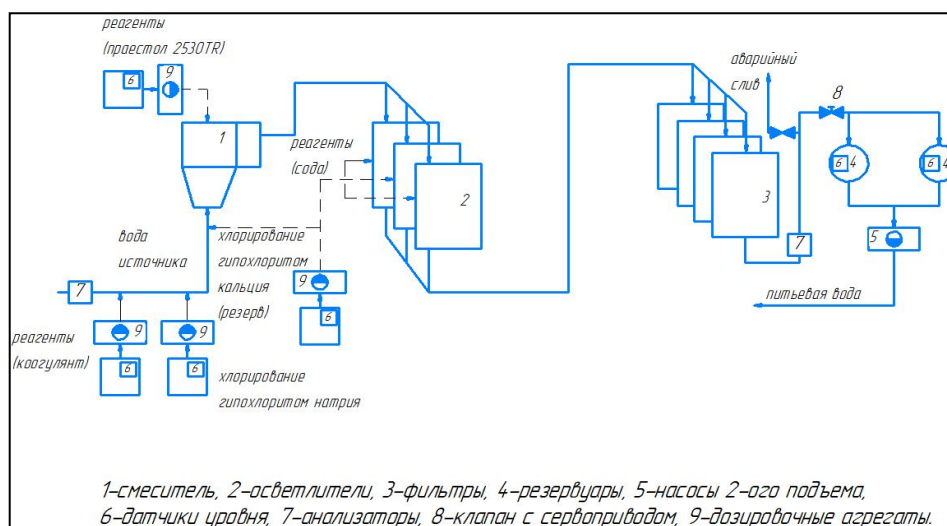


Рис. 1 – Функциональная схема автоматизации технологического процесса

Хлорирование воды согласно [2] проводится раствором гипохлорита натрия по ГОСТ 11086-76 марки А. При временном отсутствии раствора гипохлорита натрия предусмотрено хлорирование воды гипохлоритом кальция марки А.

В весенне-летний (паводковый) период, когда водородный показатель исходной воды составляет менее 6 ед. рН (норма 6-9), предусмотрено подщелачивание воды раствором соды кальцинированной.

В зимний период при температуре исходной воды менее плюс 10°С для улучшения коагуляции применяется флокулянт - Праестол 2530TR.

Контроль уровня опасных химических реагентов (коагулянт, гипохлорит натрия (кальция), флокулянт, раствор соды кальцинированной) в баках и уровня в резервуарах с питьевой водой проводится датчиком уровня.

Очищенную и обеззараженную воду повторно анализирует многопараметрический зонд для исключения отклонения показателей качества и предотвращения аварийной ситуации. Если показатели качества удовлетворяют нормам СанПиН, то вода поступает в подземные резервуары, откуда насосной станцией второго подъема подается потребителям.

В случае, когда показатели качества не удовлетворяют нормам СанПиН, в автоматическом режиме клапан с электроприводом перекрывает подачу воды в резервуары, и оповещается оператор технологического процесса по средствам SCADA системы о данной ситуации. Происходит остановка процесса водоочистки до устранения проблемы.

Алгоритм управления автоматического поддержания уровня воды в резервуарах с питьевой водой

Данный алгоритм должен обеспечивать непрерывную подачу воды в резервуар с питьевой водой при отсутствии аварийного сигнала на выходе технологического процесса (превышение предельно допустимых значений показателей качества питьевой воды). Синтез регулятора уровня описан в работе [3], согласно которому клапан с электрическим приводом работает в двух режимах:

- аварийный – показатели воды после последнего этапа очищения являются критическими и не удовлетворяют нормам СанПиН;
- поддержания уровня воды в резервуарах при помощи регулирования хода плунжера клапана.

Алгоритм работы клапана представлен на рисунке 2.

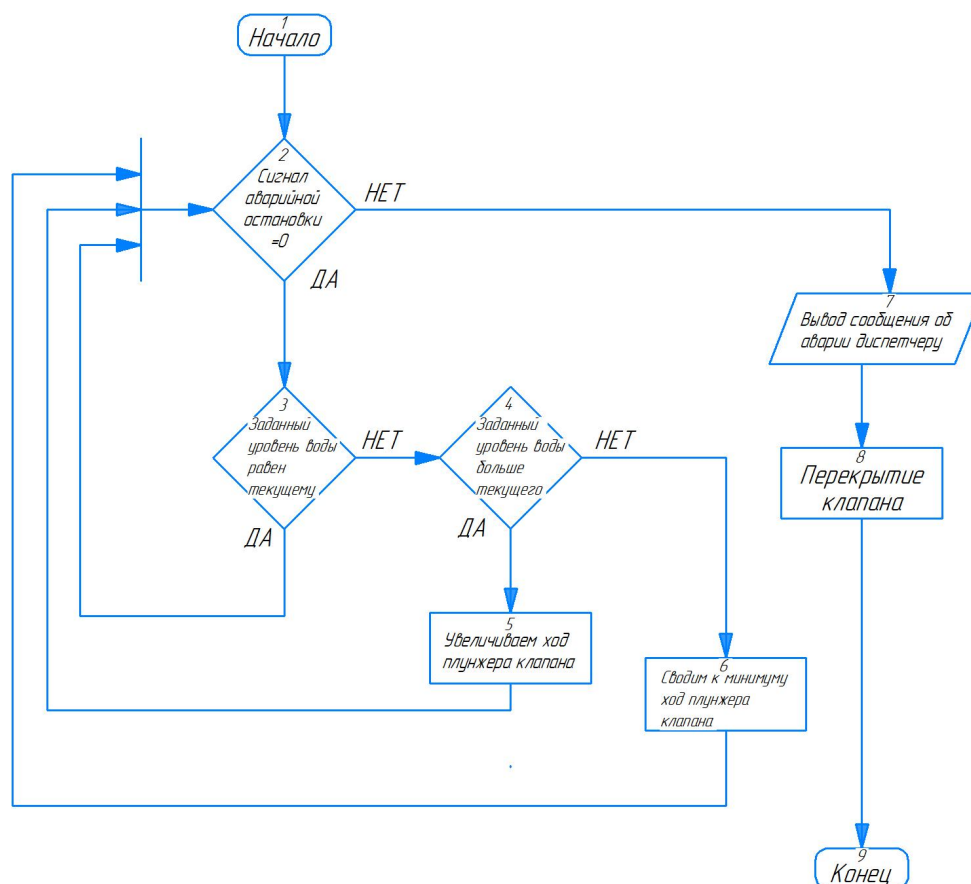


Рис. 2 – Алгоритм работы клапана с ЭИМ

Разработанная система управления функционирует следующим образом:

- Система проверяет сигнал аварийной остановки. Если таковой отсутствует - переход к следующему условию. Если сигнал равен единице, то диспетчеру выводится сообщение об аварийной ситуации. Клапан с ЭИМ перекрывается.
- Сравнение текущего уровня воды с заданным. Если значения равнозначны, но система переходит к первому шагу: проверка на наличие аварийного сигнала. В случае расхождения значений переход к следующему условию.
- Происходит второе сравнение уровней. Если текущий уровень воды меньше заданного, то на клапан поступает управляющий сигнал увеличения хода плунжера. Если уровень больше заданной границы, то на клапан поступает управляющий сигнал уменьшения хода плунжера. Оба выхода из условия циклом направляются к первому шагу: проверка на наличие аварийного сигнала.

Реализация верхнего уровня процесса водоочистки

Одна из основных проблем процесса водоочистки предприятия заключается в том, что не предусмотрен мониторинг ведения технологического процесса, в том числе за опасными химическими реагентами. Это может привести к аварийной ситуации и потере большого количества времени на ее поиск и устранение.

Реализация верхнего уровня автоматизации была осуществлена в программной среде TRACE MODE.

На рисунке 3 представлена мнемосхема процесса приготовления питьевой воды. Осуществлен мониторинг входных и выходных параметров воды, управление дозировочными агрегатами, контроль уровня в баках с химическими реагентами и в резервуарах с питьевой водой, управление клапаном с электроприводом. Введена дополнительная функция - отчет тревог, согласно которой выдается светозвуковое оповещение о критических ситуациях и графики уровня химических реагентов.

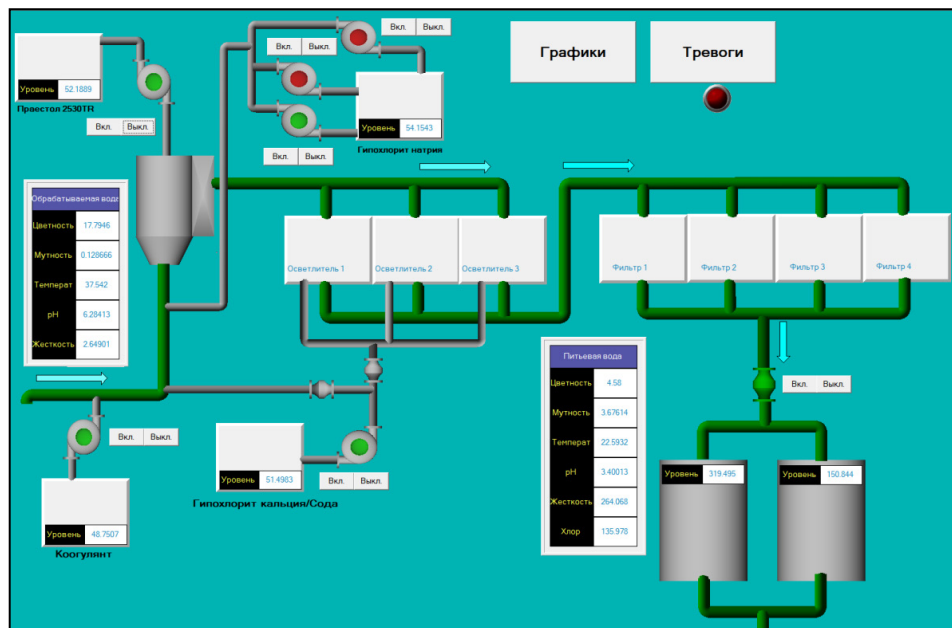


Рис. 3 – Мнемосхема технологического процесса

Выводы

Предложенная автоматизированная система снижает участие человека в технологическом процессе, позволяет в режиме реального времени наблюдать за процессом и управлять им. Был разработан алгоритм работы клапана с электрическим исполнительным механизмом, который позволяет в автоматическом режиме поддерживать уровень воды в резервуаре. В результате чего система позволяет добиться высоких показателей безопасности и повысить качество питьевой воды.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.» - Введ. с 26.09.2001.
2. ГОСТ 11086-76 «Гипохлорит натрия. Технические условия». - Введ. с 01.07.1977.
3. Князева П.О., Автоматизация процесса приготовления питьевой воды на предприятии Пермского края./ Материалы всероссийской н/т конференции (г. Пермь, 9-11 июня 2020 г.) «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» Том 1. Пермский национальный исследовательский политехнический университет – 2020 – с.470-473.

05.13.06

А.Д. Курзанов канд. техн. наук, Н.В. Кузнецов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра строительного инжиниринга и материаловедения,
Пермь, cems@pstu.ru

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ»

Целью данной статьи является выявление особенностей управления процессом производства неавтоклавного газобетона с использованием программы для ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ». Рассмотрен порядок работы и описаны возможности рассматриваемого программного продукта. Показано, что реализованная в программе система поддержки принятия решений выполняет необходимые расчеты значений параметров управления технологическим процессом, которые позволят скорректировать общее состояние технологической системы и наладить выпуск продукции требуемого качества. Рассматриваемая программа для ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ» может быть использована для поддержки принятия решений при управлении процессом структурообразования и набора прочности ячеистобетонного массива на предприятиях по производству изделий из газобетона неавтоклавного твердения.

Ключевые слова: принятие решений, технологический процесс, газобетон, вспучивание, управление, комплексный критерий.

В отрасли производства строительных материалов и изделий, как и в других промышленных отраслях, в последнее время широко внедряются интеллектуальные системы управления технологическими процессами, которые позволяют не только снизить влияние человеческого фактора на качество производимой продукции, но и в ряде случаев способствуют увеличению производительности существующих линий за счет сокращения времени принятия управленческих решений [1, 2].

Между тем, внедрение таких систем усложняется отсутствием специального программного обеспечения, отличающегося дружественным интерфейсом и позволяющего отслеживать изменение необходимых параметров в режиме реального времени [3, 4].

Одним из примеров продукта, отвечающего современным запросам пользователей, является программа для ЭВМ под названием «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ» [5].

Рассматриваемое программное обеспечение позволяет рассчитывать рецептурно-технологические параметры ячеистобетонной смеси с учетом заданного качества газобетона неавтоклавного твердения, другим словами – формирует допустимые варианты решения поставленной задачи с учетом вводимой пользователем исходной информации.

Работа с программой предусматривает заполнение пользователем соответствующих интерактивных форм. На начальном этапе во вкладке «1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ» (рис. 1) пользователю предлагается внести данные текущего состояния технологического процесса: производительность линии, объем одного замеса, параметры тепловлажностной обработки и др.



Рис. 1 – Вкладка заполнения исходных данных

Далее пользователю предлагается перейти к формированию критерия управления, где по стандартным алгоритмам парного сравнения разнородных критериев с использованием канонических матричных сверток рассчитывается комплексный критерий качества неавтоклавного газобетона [6, 7], визуальная интерпретация которого представлена на вкладке «2. КРИТЕРИЙ УПРАВЛЕНИЯ» (рис. 2).

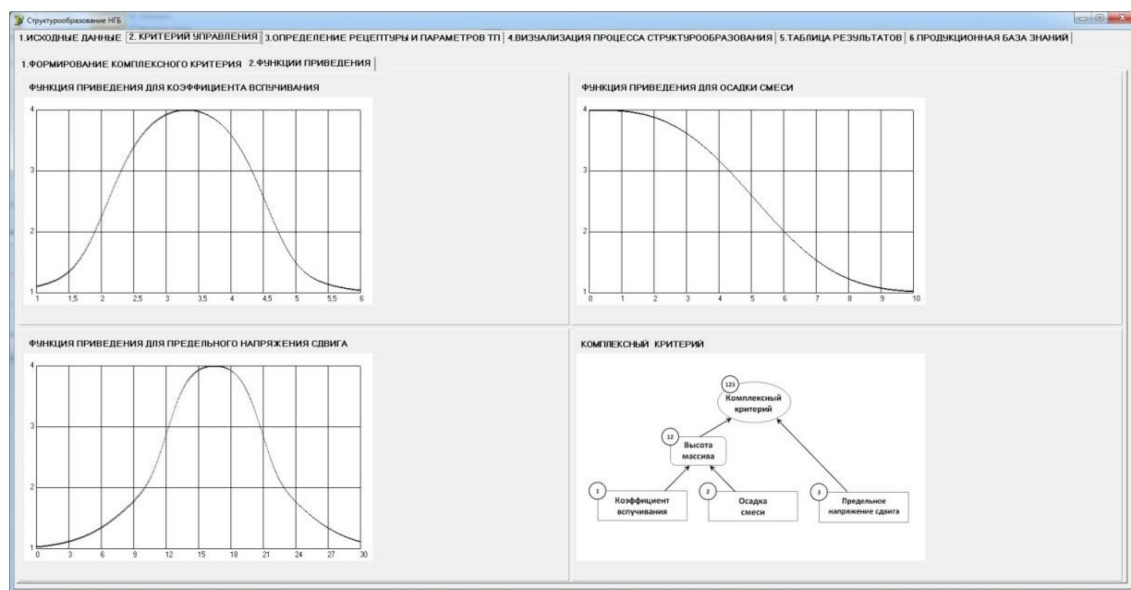


Рис. 2 – Графическое представление критерия управления в программе «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ»

На следующем шаге пользователю предлагается перейти к заполнению параметров управления, использованных в предыдущих циклах производства продукции (то есть без использования рассматриваемого программного продукта). Формирование вектора значений параметров управления осуществляется на основе производственной базы знаний, в которую заложены экспертные правила, позволяющие с учетом текущего состояния технологического процесса добиваться требуемых выходных параметров процесса структурообразования материала. В случае, если программа уже содержит данные рецептурно-технологических параметров предыдущих замесов ячеистобетонного массива, то они представляются пользователю в табличном виде (рис. 3).

№ п/п	Алюмин	Кауст	Т. вод	Вод	Цем	Перев	Кас	Ос	Пл	Упр	КРИТЕР
1	550	1500	43	180	225	0	2,98	2	14	0	3,82
2	550	1500	43	180	225	0	2,98	2,5	12	0	3,55
3	550	1500	43	180	225	0					

Рис. 3 – Окно заполнения параметров управления технологическим процессом производства ячеистого бетона

В результате работы системы поддержки принятия решений пользователю предлагаются значения параметров управления, реализация которых позволит скорректировать общее состояние производственной системы на следующем цикле технологического процесса изготовления неавтоклавного газобетона (рис. 4).

Интерпретация
Малое количество выделяющегося газа. Осадки смеси нет
Рекомендация
Необходимо увеличить количество алюминиевой пасты и незначительно уменьшить количество воды

Рис. 4 – Выработка экспертной системой рекомендуемых значений рецептурно-технологических параметров

Как можно наблюдать на рис. 4, в конечном счете пользователю не только предлагаются доступные рецептурно-технологические параметры, позволяющие получить продукцию заданного качества, но также выводится информация о текущем состоянии технологического процесса с соответствующей интерпретацией и рекомендациями.

Помимо вышеперечисленных функций программный продукт «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ» позволяет формировать банк данных о циклах технологического процесса производства неавтоклавного газобетона, а также получать информацию об экспертных правилах, составляющих производственную модель знаний [8].

Таким образом, использование программы для ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ» позволяет повысить эффективность управления технологическим процессом производства ячеистого бетона за счет сокращения времени принятия решений при назначении требуемых рецептурно-технологических параметров и снижения объемов выпуска продукции неудовлетворительного качества.

Список литературы

1. *Галицков, К.С.* Система интеллектуального управления формирования керамической массы при производстве кирпича / К.С. Галицков, М.А. Назаров // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – 2016. – С. 351-355.
2. *Leontev, S.* Research into influence of ultra- and nanodisperse size additives on the structure and properties of heat insulating autoclaved aerated concrete / Leontev S., Saraykina K., Golubev V., Shamanov V., Senkov S., Yakovlev G., Rakhimova N., Urkhanova L. // Procedia Engineering. – 2017. – pp. 649-656.
3. *Тонкушин, А.А.* Программа «Технолог АГБ» как инструмент повышения эффективности технологической службы / А.А. Тонкушин // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения. Сборник докладов 9-й международной научно-практической конференции. Минск. – 2016. – С. 91.
4. *Гринфельд, Г.И.* Производство автоклавного газобетона в России: состояние рынка и перспективы развития / Г. И. Гринфельд // Строительные материалы. – 2013. – № 2. – С. 76.
5. Автоматизированная система определения параметров технологического процесса производства неавтоклавного газобетона на основе базы знаний и метода комплексного оценивания («Структурообразование НГБ»): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618423, РФ / А.Д. Курзанов, В.А. Харитонов. Оpubл. 12.07.2018 г.
6. *Шаманов, В.А.* Использование методов комплексного оценивания при управлении производством ячеистого бетона / В.А. Шаманов // Механизация и автоматизация строительства. Сборник статей. Под редакцией С.Я. Галицкова. Самара. – 2018. – С. 88-93.
7. *Курзанов, А.Д.* Алгоритмы интеллектуальной поддержки при управлении технологическим процессом производства неавтоклавного газобетона / А.Д. Курзанов, Ю.А. Русских // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 5. – С. 226-229.
8. *Белюсов, В.Е.* Алгоритм анализа состояний сложных организационных систем на основе продукционной модели знаний / Белюсов В.Е., Каратаева Т.В., Урманов И.А. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4. – № 6. – С. 18-21.

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

05.13.11

А.Б. Сорокин канд. техн. наук, Л.М. Железняк, Д.В. Супруненко

МИРЭА – Российский технологический университет,
Институт информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Москва, ab_sorokin@mail.ru, lilya.zheleznyak@mail.ru, kafedravr@mail.ru

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА**

Рассматриваются вопросы поиска наилучшего решения на основе синтеза моделей байесовской сети и ситуационных представлений. Ситуационный анализ представлен концептуальной структурой принятия решений, которая выступает базисом для проектирования вероятностных моделей.

Ключевые слова: *ситуационный анализ, концептуальная структура, точка бифуркации, байесовская сеть.*

Принятие решений относительно неоднородных задач невозможно представить без экспертных знаний. Процесс выработки решений, его представления в виде структурированных и формализованных баз знаний – это сложная задача, которая требует подходов и инструментов, увеличивающих мощность процессов управления. Обоснование идей концептуального проектирования вероятностных моделей позволит по-новому строить систему знаний о проблемных ситуациях, вспоможение разрешению которых составляет суть поддержки принятия решений.

В соответствии с принципами ситуационного анализа необходимо действие отождествлять с определенным единичным решением d . Единичное решение рассматривается как связанная структура следующих элементов X : субъект действия Xas , действие Xa , объект действия Xao и компоненты действия $\{Xac_1, Xac_2, \dots, Xac_N\}$, влияющие на решение. При этом действие образует структуру из трех возможных типов связующих звеньев L : СД (Las) – связь между субъектом действия Xas и действием Xa , ОД (Lao) – связь между объектом действия Xao и действием Xa , КД $\{Lac_1, Lac_2, \dots, Lac_N\}$ – связь между компонентами действия ($\{Xac_1, Xac_2, \dots, Xac_N\}$) и действием Xa [1].

Выделяется два типа двунаправленных бинарных семантических отношений: взаимодействие – это вертикальные опосредованные отношения, а горизонтальное отношение – есть эмпирическое выявление зависимости между объектами. Результатом таких семантических выражений может быть либо правда (1), либо ложь (0).

Каждое горизонтальное отношение или вертикальное взаимодействие вследствие виртуальной или реальной связанности приводит к активности взаимосвязанных элементов, т.е. изменению их свойств. При этом элементы, вступая в структурную связь через действие, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии. Поэтому необходимо учитывать структурную связь между элементами и их свойствами P , которая представлена связующими звеньями: ОС (L^Pao, L^Pas, L^Pac) – связь между объектом (субъектом или компонентами) действия и их свойствами (Pas, Pao, Pac). Свойства имеют строковые, логические или числовые значения формируется концептуальная структура единичного решения [2].

Все элементы структуры единичного решения d_i обладают набором свойств $P(d_i)$, образующих множество ее концептов – $C(d_i)$. Концептуальная модель предметной области является результатом логического объединения концептуальных структур [2]:

$$C(D) = \bigcup_{i=1}^n C(d_i)$$

Для объединения $C(d_i)$ необходимо выполнить ряд операций аналогичных теоретико-множественным: пересечения, включения, дополнения, разности, объединения и др. На основе совокупности единичных решений реализуется база знаний для вероятностного моделирования, которая определена альтернативными концептуальными структурами действий. Таким образом, несколько возможных альтернативных решений задают точки бифуркации в предыдущих действиях. На этом основании реализуется структура графа сетей доверия основанных на байесовской интерпретации вероятности.

Байесовские сети доверия применяют для моделирования ситуаций, содержащих неопределённость. Случайные события, представленные концептуальными структурами соединены причинно-следственными связями.

Байесовский подход представляет собой группу алгоритмов классификации, которые основаны на принципе максимума апостериорной (условной) $p(y|x)$ вероятности. При этом граф сети доверия обусловлен множественностью концептуальных структур и связей между ними. Поэтому их невозможно максимизировать напрямую, аналитически согласно формуле Байеса [3].

$$p(y|x) = \frac{p(x|y)p(y)}{p(x)},$$

где $p(y)$ – априорная вероятность гипотезы y ; $p(y|x)$ – апостериорная вероятность гипотезы y при наступлении события x ; $p(x|y)$ – вероятность наступления события x при истинности гипотезы y ; $p(x)$ – полная вероятность наступления события x .

Однако существует возможность выделить из совокупности концептуальных структур условные независимости ($p(x, y|z) = p(x|z)p(y|z)$) некоторых ситуаций. В результате сложное апостериорное распределение ($p(a_1, \dots, a_n | x = v)p(x = v)$) возможно переписать в виде: $p(x = v)p(a_1|x = v)p(a_2|x = v) \dots p(a_n|x = v)$. Таким образом, сложное распределение раскладывается в произведение простых. Это позволит обучить параметры каждого маленького распределения по отдельности, а затем выбрать максимум произведения. Полученные значения вероятностей должны показать, выбор каких альтернатив в точках бифуркации приведет к наиболее успешной последовательности выполняемых действий, что и будет являться прогнозом оптимального решения задачи.

С помощью сети Байеса можно полностью описать предметную область, а также вычислить каждый входящий в совместное распределение вероятностей элемент, используя информацию в концептуальных структурах. Необходимо выделить несколько важных ограничений, которые влияют на работу разработанного алгоритма:

1. Процесс принятия решения человеком зависит от различных факторов, включая качество и глубину знаний о целевой задаче. Кроме того, немаловажную роль играет опыт управленца при реализации концептуальных структур.

2. В процессе принятия решения используется ситуационная абстракция, которая включает полный набор объектов и их отношений в проблемной ситуации, а также совокупность решений, переводящих ситуацию из одного состояния в другое.

3. Качество вероятностной модели зависит от выявленных связей между концептуальными структурами принятия решений. Однако, кроме явных связей, которые можно выявить методом наблюдения, существуют неявные (скрытые). Эти отношения зависят от функциональных свойств рассматриваемых объектов в концептуальной структуре.

Алгоритм прогнозирования оптимального решения был написан с использованием IDE PyCharm на языке программирования Python 3.8. Кроме того, использован пакет утилит Graphviz для автоматической визуализации графов. Основным предназначением программы

является создание модели, объединяющей байесовскую сеть и концептуальную модель предметной области в задаче поиска оптимального решения проблемной ситуации. Разработанная программа предоставляет следующий набор инструментов:

1. Создание, удаление и редактирование концептуальных структур, а также узлов сети Байеса;
2. Создание дерева модели путем указания отношений между объектами. В случае удаления элемента автоматически удаляются все связи, в которых участвовал удаляемый элемент;
3. Указание вероятностей выбора для каждого элемента. В случае конфликтной ситуации это дает возможность пользователю явно задавать приоритет выполнения;
4. Визуализация построенной модели в виде графа как в процессе, так и по завершении ее создания;
5. Сохранение и загрузка моделей;
6. Проверка связности и отсутствия циклов в сети Байеса и в концептуальной модели;
7. Вывод списка решений в порядке оптимальности.

Все вышеперечисленное позволяет пользователю создавать и редактировать сложные концептуальные модели предметной области, а понятный текстовый интерфейс не требует от пользователя никаких специфических знаний. Однако стоит учитывать, что для качественного концептуального анализа и проектирования концептуальных моделей и сетей Байеса необходимы экспертные знания и опыт, без которых невозможно получить реально применимые, научно и логически обоснованные результаты. Программа содержит модуль проверки корректности модели, исключая нарушение основных аксиом проектирования сетей Байеса и концептуальных моделей.

Помимо прямого предназначения, разработанная программа является инструментом для работы с графами и деревьями, а также она позволяет создавать сценарии логического вывода, используя инструмент указания приоритета выполнения альтернативных действий.

Список литературы

1. Сорокин А.Б., Петкевич Д.В., Тихвинский В.И. Проектирование имитационных динамических моделей на основе синтеза ситуационного анализа и деятельностного подхода // *Научно-технический вестник Поволжья*, 2018, №3 (24). С. 59 – 63.
2. Sorokin A.B., Brazhnikova E.V., Zheleznyak L.M. Designing a knowledge base for the development of intelligent models based on the conceptual structure of activity act – *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1615.
3. Буре В.М., Париллина Е.М., Седаков А.А. Теория вероятностей и вероятностные модели: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2020. – 296 с.

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

05.13.18

М.А. Бобров, В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов

 ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
 Институт электроники и светотехники,
 кафедра электроники и электротехники,
 Саранск, chembaroval@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

В статье представлены результаты исследований бездатчиковой системы векторного управления электроприводом на базе двигателя двойного питания. Приведены математические модели и синтезированные функциональные схемы двух моделей наблюдателей потокосцепления для данного типа электропривода.

Ключевые слова: электропривод на базе двигателя двойного питания, математическая модель, векторное управление, наблюдатель потокосцепления.

В настоящее время в ряде областей применения хорошо зарекомендовали себя электроприводы на базе асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР), включенным по схеме двойного питания. Одним из вариантов является машина двойного питания (МДП) с двумя силовыми преобразователями частоты в цепях статора и ротора.

Функциональная схема и векторная диаграмма установившегося режима работы представлены в [3-5].

С развитием современных микроконтроллерных систем управления всё чаще находят применение бездатчиковых систем векторного управления (СВУ) с программной реализацией наблюдателей состояний электропривода [1-5]. При векторном управлении электроприводом на базе МДП опорным вектором служит вектор основного потокосцепления $\dot{\Psi}_\delta$. Для синтеза структуры наблюдателя наиболее часто находят применение два различных подхода – реализация «токовой модели» наблюдателя и «модели напряжений».

Системы координат на базе МДП подробно рассмотрены в [3, 4]. При построении «токовой модели» наблюдателя проекции вектора основного магнитного потока $\dot{\Psi}_\delta$ на оси системы координат α, β , неподвижной относительно статора, определяются как:

$$\begin{cases} \hat{\Psi}_{\delta\alpha} = L_m(\check{i}_{s\alpha} + \hat{i}_{r\alpha}), \\ \hat{\Psi}_{\delta\beta} = L_m(\check{i}_{s\beta} + \hat{i}_{r\beta}), \end{cases} \quad (1)$$

где L_m – взаимная индуктивность, $is\alpha, is\beta, ir\alpha, ir\beta$ – проекции мгновенных значений фазных токов статора и ротора на оси системы координат статора. Знак « $\hat{}$ » показывает, что переменная вычислена, знак « $\check{}$ » – переменная измерена датчиками тока, установленными в системе.

Проекции токов статора и ротора преобразуются из трехфазной в двухфазную систему координат:

$$\begin{cases} \check{i}_{s\alpha} = \check{I}_A; \\ \check{i}_{s\beta} = \frac{\check{I}_B - \check{I}_C}{\sqrt{3}}. \end{cases} \quad (2)$$

Для токов ротора преобразования будут более сложными:

$$\begin{cases} \tilde{i}_{rd} = \tilde{I}_a; \\ \tilde{i}_{rq} = \frac{\tilde{I}_b - \tilde{I}_c}{\sqrt{3}}. \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} \hat{i}_{r\alpha} = \tilde{i}_{rd} \cos \theta - \tilde{i}_{rq} \sin \theta; \\ \hat{i}_{r\beta} = \tilde{i}_{rd} \sin \theta + \tilde{i}_{rq} \cos \theta, \end{cases} \quad (4)$$

где θ – угол между системами координат α, β и d, q (угол поворота ротора).

$$\theta = \int_0^t \omega_e dt, \quad (5)$$

$$\omega_e = \omega_1 - \omega_2 \quad (6)$$

Знаки приведения параметров ротора к статору в выражениях (2) и (5) не указаны.

По выражениям (1-5) можно синтезировать функциональную схему наблюдателя потокоцепления (рис. 1).

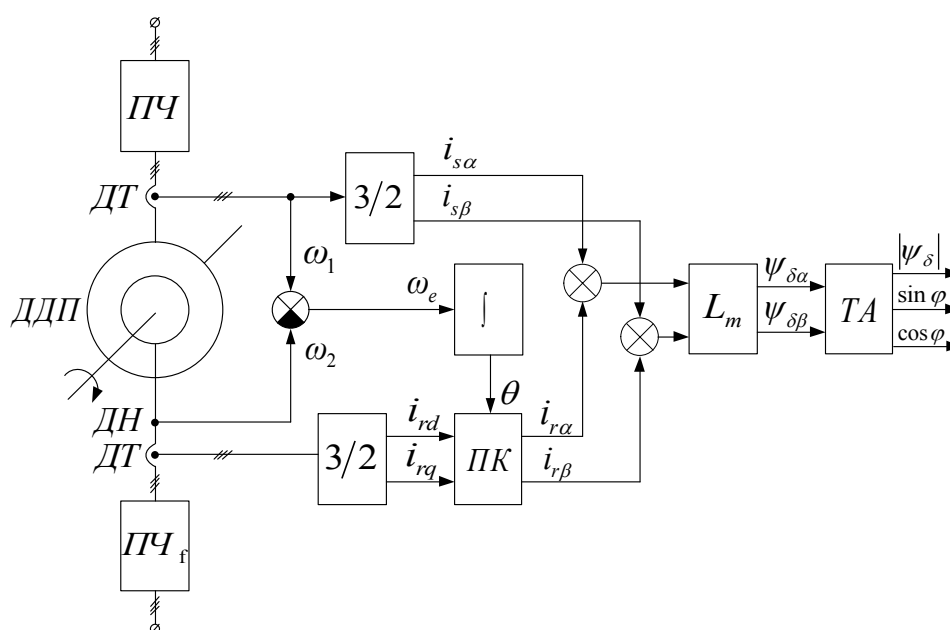


Рис. 1 – Функциональная схема наблюдателя магнитного потока («токовая» модель)

Для реализации модели наблюдателя потокоцепления по значениям токов необходима информация об угловой скорости ротора или об угле поворота ротора. В электроприводе на базе МДП значения частот токов статора ω_1 и ротора ω_2 известны. Соотношение (1) показывает, что в вычислениях присутствует один из параметров машины – взаимная индуктивность обмоток L_m , которая, в общем случае, зависит от режима работы двигателя. Использование токовой модели наблюдателя потока оправдано, когда ЭП постоянно работает в режимах, близких к номинальным ($\Psi_\delta = \Psi_{\delta n} = const$ и $L_m = L_{mn} = const$). Но при реализации энергоэффективных алгоритмов управления необходимо обеспечивать изменение основного магнитного потока в функции скорости или требуемого электромагнитного момента $\Psi_\delta = f(M_{эм})$. При этом диапазон возможного изменения L_m может достигать $\pm 30\%$ от L_{mn} . Это вызывает необходимость текущей идентификации этого параметра в реальном масштабе времени. При использовании в системе векторного

управления второго подхода к реализации наблюдателя потока для его математического описания применим уравнения напряжений ротора, записанные в системе координат d, q :

$$\begin{cases} \tilde{u}_{rd} = R_r \tilde{i}_{rd} + \frac{d\hat{\Psi}_{rd}}{dt}, \\ \tilde{u}_{rq} = R_r \tilde{i}_{rq} + \frac{d\hat{\Psi}_{rq}}{dt}, \end{cases} \quad \text{где} \quad \begin{cases} \hat{\Psi}_{rd} = L_{lr} \tilde{i}_{rd} + \hat{\Psi}_{\delta d}, \\ \hat{\Psi}_{rq} = L_{lr} \tilde{i}_{rq} + \hat{\Psi}_{\delta q}. \end{cases} \quad (7)$$

После подстановки значений проекций потокосцепления ротора в уравнения напряжения получим:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{\Psi}_{\delta d}}{dt} = \tilde{u}_{rd} - R_r \tilde{i}_{rd} - L_{lr} \frac{d\tilde{i}_{rd}}{dt}, \\ \frac{d\hat{\Psi}_{\delta q}}{dt} = \tilde{u}_{rq} - R_r \tilde{i}_{rq} - L_{lr} \frac{d\tilde{i}_{rq}}{dt}. \end{cases} \quad (8)$$

Проинтегрировав левую и правую части полученных соотношений, получим значения проекций вектора основного магнитного потока на оси системы координат d, q , неподвижной относительно вращающегося ротора:

$$\begin{cases} \hat{\Psi}_{\delta d} = \int_0^t (u_{rd} - R_r i_{rd}) dt - L_{lr} i_{rd}, \\ \hat{\Psi}_{\delta q} = \int_0^t (u_{rq} - R_r i_{rq}) dt - L_{lr} i_{rq}. \end{cases} \quad (9)$$

Модуль и направляющие косинус и синус опорного вектора определяются соотношениями:

$$|\hat{\Psi}_{\delta}| = \sqrt{\hat{\Psi}_{\delta d}^2 + \hat{\Psi}_{\delta q}^2}, \quad (10)$$

$$\cos \phi = \frac{\hat{\Psi}_{\delta d}}{|\hat{\Psi}_{\delta}|}, \quad (11)$$

$$\sin \phi = \frac{\hat{\Psi}_{\delta q}}{|\hat{\Psi}_{\delta}|}, \quad (12)$$

где ϕ – угол между вектором $\hat{\Psi}_{\delta}$ и действительной осью системы координат d, q . При построении СВУ в координатах x, y этот угол определяется частотой возбуждения ω_2 .

При реализации этой модели наблюдателя используется операция интегрирования, что при отсутствии обратных связей приводит к накоплению ошибки. Особенно это сказывается на низких частотах, когда период изменения токов и напряжений ротора достаточно велик, и вносимая погрешность наиболее значительна. Компенсация ошибки обеспечивается введением в интегратор отрицательной обратной связи.

Также необходимо осуществлять текущую идентификацию параметров машины, входящих в подынтегральное выражение – R_r .

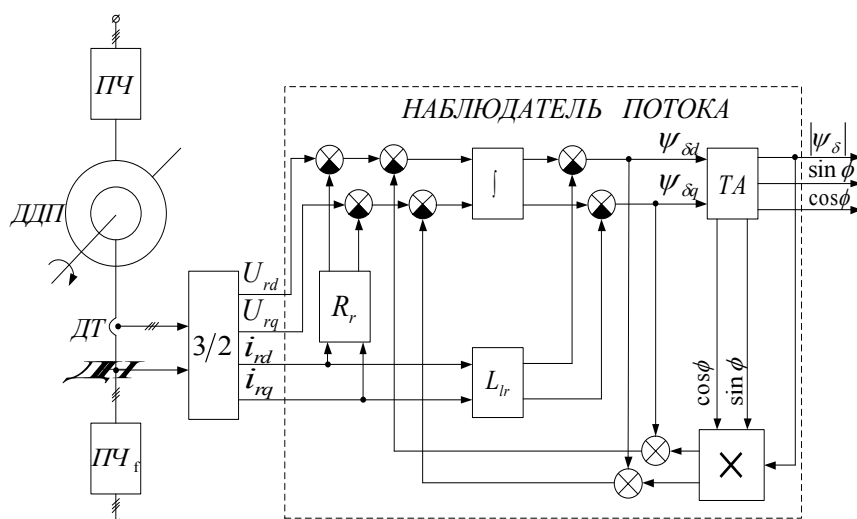


Рис. 2 – Функциональная схема наблюдателя магнитного потока (модель напряжения)

Функциональная схема наблюдателя потокосцепления с компенсацией ошибок интегрирования приведена на рис. 2.

При использовании данной модели наблюдателя изменение активного сопротивления ротора может оказать влияние на точность ориентации системы по вектору основного потока. Поэтому в области малых нагрузок более эффективным будет применение наблюдателя с моделью напряжений, когда влияния температурных изменений на значения R_r незначительны. Токковую модель наблюдателя целесообразно использовать, когда ЭП работает в режимах, близких к номинальным ($\Psi_\delta = \Psi_{\delta n} = const$ и $L_m = L_{mn} = const$).

Таким образом, разработанные алгоритмы вычисления потокосцепления позволяют исключить из системы управления электроприводом на базе МДП датчик магнитного потока и применить в качестве базовой машины серийный двигатель с фазным ротором. Для точной оценки значений потокосцепления систему управления необходимо дополнить идентификатором параметров машины.

Список литературы

1. *Браславский И.Я.* Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 256 с.
2. *Поляков В.Н.* Энергоэффективные режимы регулируемых электроприводов переменного тока / В. Н. Поляков, Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, РГППУ, 2012. – 222 с.
3. *Тутаев Г.М.* Наблюдатели магнитного потока в системе управления электроприводом с двигателем двойного питания / Г.М. Тутаев, М.А. Бобров/ *Электричество*, 2018, №2, 44-51 с.
4. *Тутаев Г.М.* Анализ устойчивости наблюдателя магнитного потока в системе управления электроприводом на базе машины двойного питания/ Г.М. Тутаев, М.А. Бобров / *Научно-технический Вестник Поволжья*, 2018, №1, 140-143 с.
5. *Tutaev G.* Sensorless speed estimation in electric drive based on double inverter-fed induction motor/ G. Tutaev, M. Bobrov / *Journal of advanced research in dynamical and control systems*, 2018, Issue 4, p 1448-1455.

05.13.18

Т.Г. Куликова, Р.Г. Куликов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulttg@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЯЗКОУПРУГОГО ПОЛИМЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЕРЕМЕННЫХ МОДУЛЕЙ

Работа посвящена вопросу описания процесса формирования технологических напряжений в кристаллизующейся полимерной среде в ходе остывания. Рассматривается численный алгоритм, учитывающий зависимость реологического поведения материала от температуры. Предложен подход, основанный на идеологии метода переменных модулей, позволяющий существенно снизить вычислительные затраты. Приведены результаты решения иллюстрационной задачи.

Ключевые слова: кристаллизация, полимер, теплокинетическая задача, вязкоупругость, численный подход.

Вопросу построения моделей механического поведения полимерных материалов посвящено достаточно большое количество работ [1-5]. Этому способствует широкое распространение данных материалов в промышленности. Учитывая, что производство изделий и конструкций из полимеров, как правило, сопровождается процессами кристаллизации и стеклования, для оценки напряженного состояния, возникающего в таких изделиях на стадии изготовления, актуальной становится проблема построения физических соотношений, учитывающих эффекты кристаллизации и стеклования в полимерных материалах. Многие полимерные материалы демонстрируют вязкоупругие свойства, учет которых также необходим при построении определяющих соотношений.

Ранее авторами были предложены определяющие соотношения для кристаллизующегося вязкоупругого полимера [1]. Данные соотношения позволяют описать поведение материала в широком температурном диапазоне.

Численное решение термомеханической задачи с использованием вязкоупругих определяющих соотношений для кристаллизующейся среды представляет значительные трудности. В данной работе предложен упрощенный вариант вышеупомянутых физических соотношений, построенный с применением методики переменных параметров упругости. Это позволяет значительно уменьшить вычислительную нагрузку при решении рассматриваемого типа задач.

Задача по определению технологических напряжений распадается на две самостоятельные задачи:

- 1) теплокинетическая задача – задача по определению полей распределения температуры и степени кристаллизации;
- 2) краевая задача по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) затвердевающей системы.

Постановка теплокинетической задачи включает:

- уравнение нестационарной теплопроводности с переменными коэффициентами

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T(\vec{x},t)}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(T)\operatorname{grad}(T(\vec{x},t))) + \rho(T)\dot{Q}, \quad \vec{x} \in V; \quad (1)$$

- уравнение кинетики неизотермической кристаллизации [6]

$$\frac{d\alpha(\vec{x},t)}{dt} = K_1 \exp\left(-\frac{U_1}{RT(\vec{x},t)} - \frac{\Psi}{T_p - T(\vec{x},t)}\right) (1 + A_0\alpha(\vec{x},t)) (\alpha_p(T) - \alpha(\vec{x},t)), \quad \vec{x} \in V, \quad (2)$$

- начальные и граничные условия

$$\alpha(\vec{x}, 0) = 0, \quad T(\vec{x}, 0) = T_0, \quad \vec{x} \in V; \quad (3)$$

$$\lambda(T)\vec{n} \cdot \text{grad}(T(\vec{x}, t)) = h(T(x, t) - T_{cp}), \quad \vec{x} \in S_1, \quad (4)$$

$$\vec{n} \cdot \text{grad}(T(\vec{x}, t)) = 0, \quad \vec{x} \in S_2, \quad (5)$$

где α - степень кристаллизации материала, которая в ходе процесса принимает значения в пределах от нуля до равновесной степени кристаллизации α_p , зависящей от температуры, t - время, \vec{x} - радиус-вектор произвольной точки тела, T - температура, c - удельная теплоемкость, ρ - плотность материала, λ - коэффициент теплопроводности, \vec{n} - вектор нормали к поверхности тела, $\dot{Q} = Q_k d\alpha/dt$ - скорость выделения тепла в ходе протекания реакции кристаллизации [6], Q_k - тепловой эффект реакции кристаллизации, R - универсальная газовая постоянная, T_p - температура плавления, K_1, U_1, ψ, A_0 - макрокинетические константы, V - область затвердевающего полимера, h - коэффициент конвективного теплообмена с окружающей средой, T_{cp} - температура окружающей среды, S_1 - часть поверхности, на которой заданы условия конвективного теплообмена, S_2 - часть поверхности, на которой отсутствует теплообмен.

Уравнения (1) и (2) связаны между собой и могут решаться только совместно. Постановка краевой задачи термомеханики для кристаллизующейся системы включает:

- уравнение равновесия

$$\text{div} \hat{\sigma}(\vec{x}, t) + \vec{f}(\vec{x}, t) = 0, \quad \vec{x} \in V, \quad (6)$$

- краевые условия

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{U}(\vec{x}, t), \quad \vec{x} \in S_u, \quad (7)$$

$$\vec{n}(\vec{x}) \cdot \hat{\sigma}(\vec{x}, t) = \vec{p}(\vec{x}, t), \quad \vec{x} \in S_\sigma, \quad (8)$$

- соотношения Коши

$$\hat{\varepsilon}(\vec{x}, t) = \frac{1}{2} \left(\nabla \vec{u}(\vec{x}, t) + (\nabla \vec{u}(\vec{x}, t))^T \right), \quad \vec{x} \in V, \quad (9)$$

- физические соотношения [1]

$$\hat{\sigma}(\vec{x}, t) - \sigma(\vec{x}, t) \hat{E} = \int_0^{\alpha(t)} \left[\int_\omega^t R_1(t - \omega, \tau - \omega) d \left(\hat{\varepsilon}(\vec{x}, \tau) - \frac{1}{3} \theta(\vec{x}, \tau) \hat{E} \right) \right] d\alpha(\omega), \quad (10)$$

$$\sigma(\vec{x}, t) = B_a^\infty \left(\theta(\vec{x}, t) - \theta_T^a(\vec{x}, t) \right) (1 - \alpha(\vec{x}, t)) + \int_0^{\alpha(t)} \left[\int_\omega^t R_2(t - \omega, \tau - \omega) d \left(\theta(\vec{x}, \tau) - \theta_T^{kp}(\vec{x}, \tau) \right) + 3kR_2(t - \omega, 0) \right] d\alpha(\omega), \quad \vec{x} \in V, \quad (11)$$

где $\vec{u}, \vec{f}, \vec{p}$ - векторы перемещений, массовых и поверхностных сил соответственно, \vec{U} - заданный вектор перемещений, S_u, S_σ - границы области V , на которых заданы краевые условия по перемещениям и по нагрузкам соответственно, $\hat{\sigma}, \hat{\varepsilon}$ - тензоры напряжений и деформаций соответственно, $R_1(t, \tau), R_2(t, \tau)$ - независимые функции сдвиговой и объемной релаксации кристаллической фазы, $\theta = \varepsilon_{kk}$ - объемная деформация, $\sigma = \sigma_{kk} / 3$ - среднее нормальное напряжение, B_a^∞ - длительный объемный модуль аморфной фазы, $\theta_T^a, \theta_T^{kp}$ - температурные объемные деформации полимера в аморфном и кристаллическом состоянии, k - коэффициент структурной усадки.

В рамках данной работы предлагается использовать для реализации определяющих соотношений (10) – (11) идеологию метода переменных параметров упругости, что позволяет существенно снизить вычислительные затраты при решении краевой задачи (6) – (11):

$$\hat{\sigma}(\bar{x}, t) - \sigma(\bar{x}, t) \hat{E} = \int_0^{\alpha(t)} G(t - \omega) \left[\hat{\varepsilon}(\bar{x}, t) - \hat{\varepsilon}(\bar{x}, \omega) - \frac{1}{3}(\theta(\bar{x}, t) - \theta(\bar{x}, \omega)) \hat{E} \right] d\alpha(\omega), \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma(\bar{x}, t) = & B_a^\infty (\theta(\bar{x}, t) - \theta_T^a(\bar{x}, t))(1 - \alpha(\bar{x}, t)) + \\ & + \int_0^{\alpha(t)} B_{kp}(t - \omega) \left[\theta(\bar{x}, t) - \theta_T^{kp}(\bar{x}, t) - (\theta(\bar{x}, \omega) - \theta_T^{kp}(\bar{x}, \omega)) + 3k \right] d\alpha(\omega) \end{aligned}, \quad \bar{x} \in V, \quad (13)$$

где B_{kp} - объемный модуль кристаллической фазы, G - модуль сдвига кристаллической фазы.

В качестве иллюстративного примера рассматривается одномерная задача о кристаллизации охлаждающейся полимерной среды. Целью является определение технологических напряжений, формирующихся в теле к моменту завершения процесса кристаллизации. Охлаждение происходит на правой границе области в предположении наличия конвективного теплообмена. На левой границе области предполагается отсутствие теплового потока. Крайние точки рассматриваемой области зафиксированы. Материал тела – полиэтилен низкого давления. На момент начала охлаждения тело имеет начальную температуру $T_0 = 478$ К. Температура окружающей среды принята равной $T_{cp} = 287$ К. Зависимость теплофизических свойств полиэтилена от температуры, механические свойства материала взяты из литературных источников [7-8].

В рассматриваемом случае уравнение теплопроводности (1) и физические соотношения (12), (13) конкретизируются следующим образом.

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \rho(T)Q_k \dot{\alpha}(t), \quad x \in [0, L], \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, t) = & E_a (\varepsilon_x(x, t) - \varepsilon_T^a(x, t))(1 - \alpha(x, t)) + \\ & + \int_0^{\alpha(t)} E_{kp}(t - \omega) \left[\varepsilon_x(x, t) - \varepsilon_T^{kp}(x, t) - (\varepsilon_x(x, \omega) - \varepsilon_T^{kp}(x, \omega)) + k \right] d\alpha(\omega) \end{aligned}, \quad (15)$$

где x - координата, L - линейный размер рассматриваемой области, σ_x - компонента тензора напряжений, ε_x - компонента тензора деформаций, E_a , E_{kp} - модули аморфной и кристаллической фаз.

Для численного решения уравнения теплопроводности (14) использован метод конечных разностей. Для обеспечения устойчивости вычислений принята неявная разностная схема. Пространственная сетка содержала 100 узлов. Решение задачи Коши для дифференциального уравнения кинетики кристаллизации (2) выполнялось с использованием метода Рунге-Кутты четвертого порядка. В связи с тем, что скорость изменения степени кристаллизации существенно выше скорости изменения температуры, интегрирование уравнения (2) проводилось с более мелким шагом.

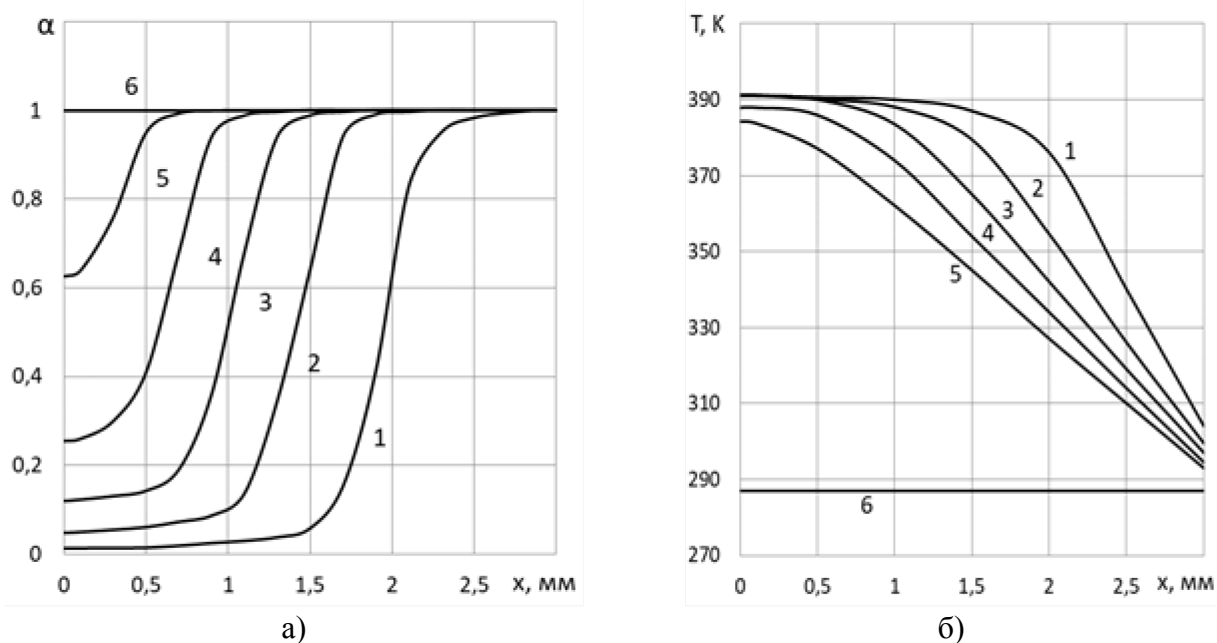


Рис.1. - Распределение степени кристаллизации (а) и температуры (б) для различных моментов времени, кривые 1 - 6 соответствуют моментам времени 350с, 700с, 1050с, 1400с, 1750с, 2100с.

Развитие процесса рассматривалось до момента достижения во всех точках области равновесной степени кристаллизации. В результате решения теплокинетической задачи получены данные об эволюции полей температуры и степени кристаллизации во времени (рис.1). Замедление процесса остывания материала обуславливается интенсивным тепловыделением вследствие протекания процесса кристаллизации.

Для численного решения рассматриваемой краевой задачи по определению НДС (6)-(9), (12), (13) использован метод конечных элементов [9]. Соотношения метода получены с использованием вариационной постановки. Применялся конечный элемент с линейной аппроксимацией узловых неизвестных. В качестве узловых неизвестных выступали перемещения. Степень дискретизации области соответствует случаю решения теплокинетической задачи. Величины степени кристаллизации и температуры на конкретный момент времени считались постоянными в элементе и вычислялись осреднением узловых значений. При учете зависимости релаксационного поведения материала от температуры предполагалось, что материал является термореологически простым, и использовался принцип температурно-временной аналогии. При определении приведенного времени в качестве температуры приведения принималась температура среды на момент зарождения импульса деформации.

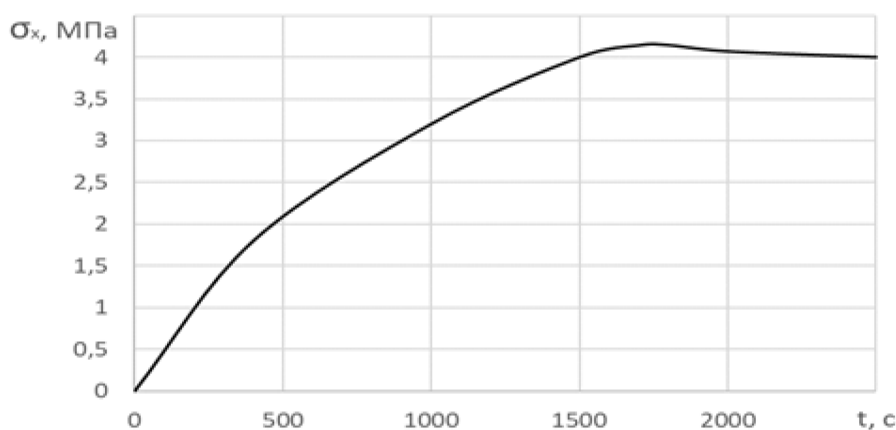


Рис.2. - Изменение напряжений в процессе кристаллизации

На рис.2 представлена кривая зависимости напряжений от времени в ходе кристаллизации. К моменту времени 1800 с рост напряжений прекращается, что обусловлено достижением равновесной степени кристаллизации материала во всем рассматриваемом объеме, и, следовательно, прекращению формирования усадочных деформаций. Дальнейшее уменьшение напряжений связано с протеканием релаксационных процессов, выраженных очень незначительно.

Предложенный подход, предполагающий численную реализацию, позволяет учитывать зависимость теплофизических и реологических свойств материала от температуры при определении напряжений, возникающих в полимерных телах в ходе технологических процессов, сопровождающихся кристаллизацией.

Список литературы

1. Завьялова Т.Г., Труфанов Н.А. Определяющие соотношения для вязкоупругого тела в условиях кристаллизации // Прикладная механика и техническая физика. 2005. Т.46, №4. С.78-87.
2. Golotina L.A., Matveenko V.P., Shardakov I.N. Analysis of deformation process characteristics in amorphous-crystalline polymers. Mechanics of Solids. 2012. Vol. 47. P. 634-640. doi:10.3103/S0025654412060040.
3. Anand L., Ames N.M., Srivastava V., Chester S.A. A Thermo-Mechanically Coupled Theory for Large Deformations of Amorphous Polymers. Part I: Formulation // Int. J. Plast. 2009. Vol. 25, No 8. P. 1474-1494. doi:10.1016/j.ijsolstr.2010.11.029
4. Тихомирова К.А., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Численное и экспериментальное исследование термомеханического поведения стеклующихся полимеров в случае больших деформаций // Вычислительная механика сплошных сред. 2013. Т. 6, № 4. С. 475-482. <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2013.6.4.52>
5. Роговой А.А., Столбова О.С. Моделирование термомеханических процессов в полимерах с памятью формы при конечных деформациях // Прикладная механика и техническая физика. 2015. Т. 56, № 6. С. 143-157. doi: 10.15372/PMTF20150616
6. Shardakov I.N., Matveyenko V.P., Pistsov N.V., Beghishev V.P. Simulation of Thermomechanical Processes in Crystallising Polymer // Polym. Eng. and Sci. 1997. Vol.37, No.8. P. 1270-1279.
7. Теплофизические и реологические характеристики полимеров. Справочник / Под ред. Липатова Ю.С. Киев: Наукова думка, 1977. 244с.
8. Гольдман А.Я. Прогнозирование деформационно-прочностных свойств полимерных и композиционных материалов. Л.: Химия, 1988. 272с.
9. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Sixth Edition, Butterworth-Heinemann, 2005. 631 p.

05.13.18

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Я.П. ГолубевКазанский государственный энергетический университет,
Казань, soloveva.ov@kgeu.ru**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА
СО ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ
В МНОГОСЛОЙНОМ ВЫСОКОПОРИСТОМ ФИЛЬТРЕ**

В данной работе предложен метод создания многослойного высокопористого фильтра, повышающий эффективность осаждения частиц при уменьшении толщины фильтрующего материала. Для проведения исследования была создана начальная модель пористого фильтра толщиной 9 см с диаметром ячейки $d_c = 6$ мм и пористостью $\varepsilon = 0.7$. Впоследствии данная модель была разделена на 9 моделей различной толщины, от 1 до 9 см, с шагом увеличения толщины 1 см. Далее каждая модель разделялась надвое поперечным сечением и поворачивалась на 90, 180 и 270 градусов по оси. Таким образом дополнительно из каждой модели создавалось 3 модели фильтра, состоящие из двух слоев исходной модели. Исследование показало, что при таком способе создания многослойного фильтра наблюдается значительный прирост эффективности осаждения частиц до 43%, который перекрывает увеличение перепада давления (6-10%).

Ключевые слова: *высокопористый ячеистый материал, перепад давления, численный расчет, эффективность осаждения частиц.*

Введение

Высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ) вызвали большой интерес исследователей по всему миру, так как обладают широким применением как промышленности, так и в быту [1-3]. Высокопористые ячеистые структуры применяют в фильтрации жидкостей и газов, разделении водонефтяных эмульсий, каталитических реакциях, хранении газов, теплообменных процессах, звукоизоляции, экранировании, адсорбции тяжелых металлов [4-6]. Высокопористым структурам характерны: низкая плотность материала, развитая площадь поверхности и высокая проницаемость для жидкостей и газов [7, 8].

В представленной далее работе проведено численное моделирование течения газа внутри пористой структуры, полученной путем случайной генерации ячеек внутри объема. Таким образом, созданная модель приближена по структурным особенностям к реальным высокопористым ячеистым средам.

Постановка задачи и численное моделирование

Для исследования была создана начальная модель высокопористого фильтра с диаметром ячейки $d_c = 6$ мм и пористостью $\varepsilon = 0.7$, толщина которой составила 9 см. Данная модель была разделена на 9 исходных моделей с разной толщиной 1, 2, 3...9 см; после чего для создания многослойного фильтра каждая модель разделялась надвое в поперечном срезе, поворачивалась по оси на 90, 180 и 270 градусов попеременно и соединялась обратно (рис.1).

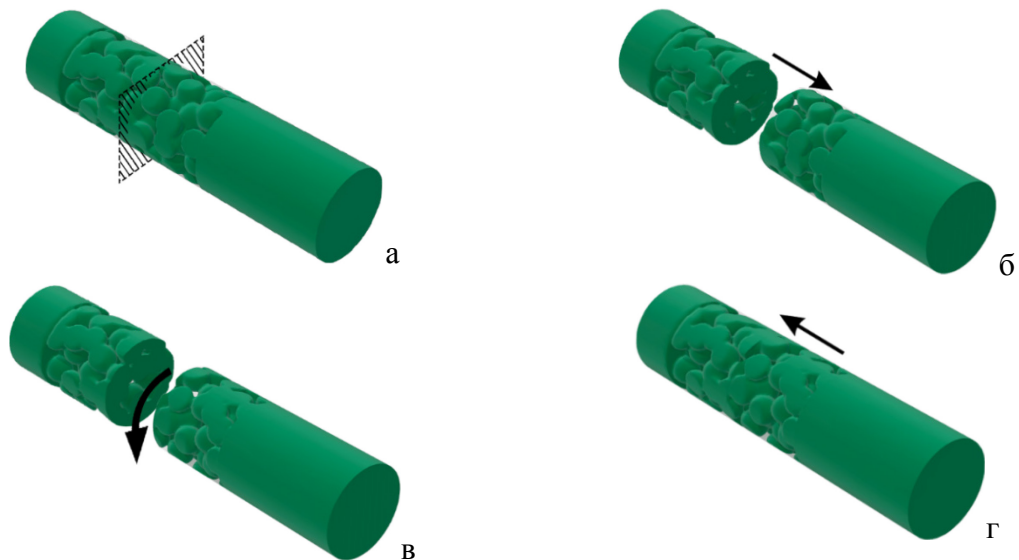


Рис. 1. – Процесс создания модели многослойного фильтра толщиной 4 см:
(а, б) – разделение, (в) – поворот, (г) – соединение

Целью данного исследования являлось изучить возможность создания многослойных высокопористых фильтров путем отсечения и поворота исходной структуры. На рисунке 2 представлен график зависимости перепада давления от толщины пористой структуры для разных значений угла поворота. Различие между кривыми наибольшее до толщины 6 см, от 5 до 65%, после чего разброс становится минимальным и составляет 1-2%. Средний прирост гидродинамического сопротивления составил 10% для угла 90°, 6% для угла 180° и 7% для угла 270°. Разброс значений перепада давления для малых толщин пористого материала объясняется наличием каналов, создаваемых порами, и образованием просветности.

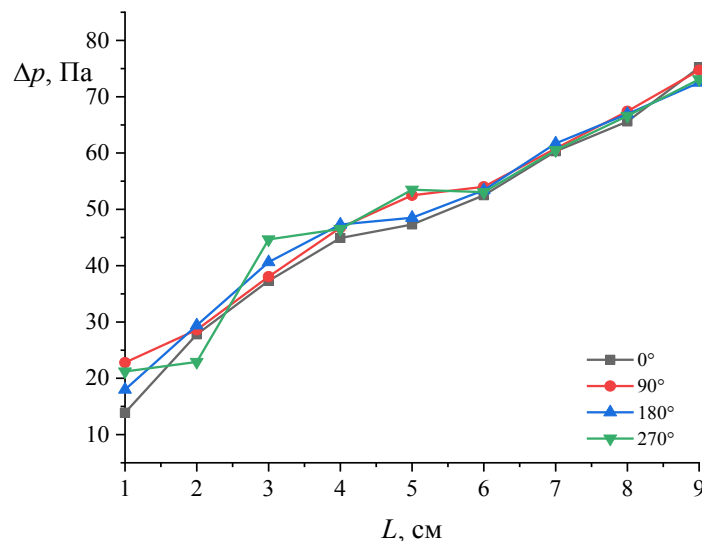


Рис. 2. – Зависимость перепада давления от толщины пористой вставки на разных углах поворота

Рисунки 3-4 представляют собой графики зависимости эффективности осаждения от диаметра частиц при разных значениях угла поворота пористой вставки. На рисунке 3 (а) представлены кривые зависимости эффективности осаждения частиц от диаметра частиц при разных значениях угла поворота для структуры с толщиной пористой вставки 1 см. При повороте структуры наблюдается прирост эффективности осаждения частиц, что обусловлено увеличением извилистости пористой вставки. Наибольшим приростом эффективности осаждения в промежутке значений диаметра частиц от 10·10⁻⁷ м до 1.5·10⁻⁵ м обладает структура с углом поворота 270°, эффективность составляет порядка 1-50 % со

средним приростом 26%. После $1.5 \cdot 10^{-5}$ м наибольшее значение эффективности осаждения демонстрирует структура с углом поворота 90° , прирост эффективности для которой составил 4-43%, средний прирост по всей длине – 19%. Для структуры с углом поворота 180° прирост составил 3-36%, средний прирост по длине – 14%.

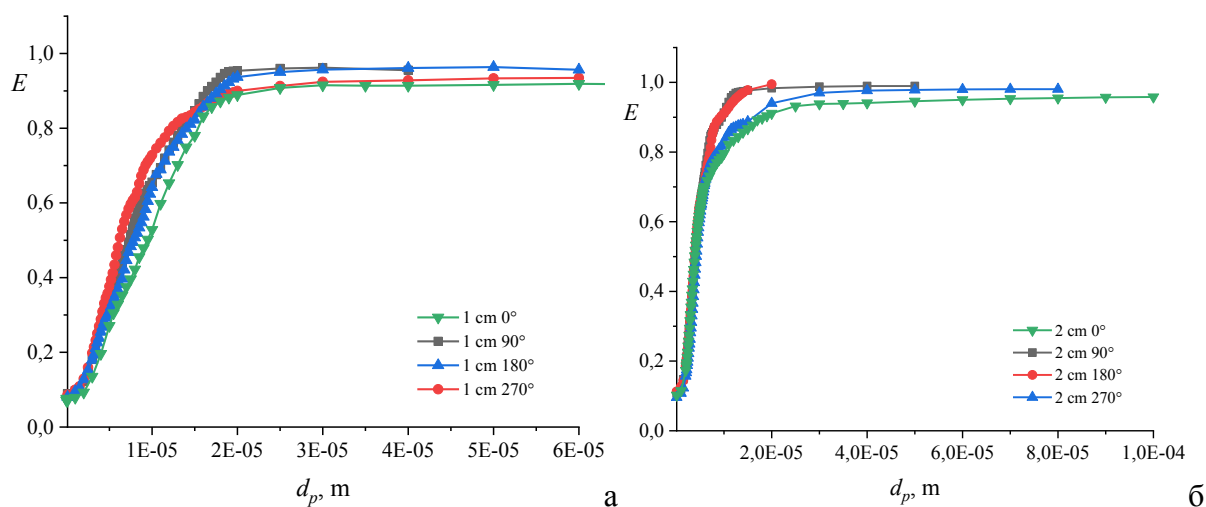


Рис. 3. – Кривые зависимости эффективности осаждения частиц от диаметра частиц для структуры с толщиной пористой вставки 1 см (а) и 2 см (б) при разных значениях угла поворота

Рисунок 3 (б) представляет собой график изменения эффективности осаждения частиц для модели с толщиной пористой вставки 2 см. Если в предыдущем случае наблюдался заметный прирост эффективности, то в случае фильтра с толщиной пористой вставки 2 см до значения диаметра частиц $6 \cdot 10^{-6}$ наибольший прирост составил у структур с углом поворота 90° и 180° , для случая 90° прирост составляет 1-14% средний прирост по длине составил 5%, для 180° прирост 0-15% средний прирост по длине 4%. В случае поворота на 270° наоборот наблюдается уменьшение эффективности, что объясняется появлением областей с просветностью. Разница в эффективности осаждения составляет от 2% до -39%, среднее значение изменения эффективности по длине составляет -7%. На примере двух начальных структур можем сказать, что при повороте пористой структуры может наблюдаться как увеличение эффективности за счет увеличения извилистости структуры, так и уменьшение за счет образования зон с просветностью. Для случаев с толщиной пористой вставки 3 см прирост эффективности осаждения частиц в среднем составил 9-12%, для толщины 4 см 1-8%, для толщины 5 см 5-11%, и для случая с толщиной 6 см 3-6%. Такой разброс по эффективности осаждения частиц обусловлен структурными особенностями, образующимися при разделении и соединении пористой структуры, могут образоваться зоны с повышенной проницаемостью по сравнению со структурой другой толщины, но общая картина показывает, что при помощи данного метода возможно улучшить эффективность работы фильтра без существенных затрат. Начиная с толщины пористой вставки 7 см, эффективность практически перестает изменяться и колеблется в районе 1-2%, можно заключить, что данный метод создания многослойных фильтров является действенным на малых значениях толщины фильтрующего слоя. Для рассмотренной модели предельной толщиной, при которой наблюдается прирост в эффективности осаждения частиц за счет многослойности, является толщина 6 см.

Заключение

Исследование показало, что метод создания многослойных высокопористых фильтров, описанным в работе выше способом, является целесообразным до значения толщины пористой вставки 6 см. Прирост эффективности осаждения частиц достигает 43% для случая модели с толщиной пористой вставки 1 см. По моделям в диапазоне толщин от 2 до 6 см средний прирост достигает 19%. Начиная с толщины 7 см изменение эффективности

осаждения частиц незначительно – до 1%. Возможности использования данного метода ограничиваются толщиной пористой вставки 6 см, до указанного значения применение метода разделения и поворота пористой структуры с образованием многослойного фильтра позволяет повысить эффективность осаждения частиц и обеспечить компактность фильтрующего материала.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01188.

Список литературы

1. *Davis M.E.* Ordered porous materials for emerging applications //Nature. 2002. vol. 417. №. 6891. pp. 813-821.
2. *Meng X., Wang H.N., Song S.Y., and Zhang H.J.* Proton-conducting crystalline porous materials //Chemical Society Reviews. 2017. vol. 46. №. 2. pp. 464-480.
3. *Cui X., Chen K., Xing H., Yang Q., Krishna R., Bao Z., and Li B.* Pore chemistry and size control in hybrid porous materials for acetylene capture from ethylene //Science. 2016. vol. 353. №. 6295. pp. 141-144.
4. *Chen W., Yu H., Lee S. Y., Wei T., Li J., and Fan Z.* Nanocellulose: a promising nanomaterial for advanced electrochemical energy storage //Chemical Society Reviews. 2018. vol. 47. №. 8. pp. 2837-2872.
5. *Jiang S., Agarwal S., Greiner A.* Low-Density Open Cellular Sponges as Functional Materials //Angewandte Chemie International Edition. 2017. vol. 56. №. 49. pp. 15520-15538.
6. *Klemm D., Kramer F., Moritz S., Lindström T., Ankerfors M., Gray D., and Dorris A.* Nanocelluloses: a new family of nature-based materials //Angewandte Chemie International Edition. 2011. vol. 50. №. 24. pp. 5438-5466.
7. *Parlett C. M.A., Wilson K., Lee A.F.* Hierarchical porous materials: catalytic applications //Chemical Society Reviews. 2013. vol. 42. №. 9. pp. 3876-3893.
8. *Jiang S., Agarwal S., Greiner A.* Low-Density Open Cellular Sponges as Functional Materials //Angewandte Chemie International Edition. 2017. vol. 56. №. 49. pp. 15520-15538.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов, Р.Х. Шагимуллин,
М.Р. Вахитов, Э.И. Галеева
АКУСТИЧЕСКИЕ НАГНЕТАТЕЛИ
ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СРЕД

Ключевые слова: Генератор акустической энергии, поршневого акустического нагнетателя, газовая струя.

Рассмотрены устройство и принцип работы акустического нагнетателя газожидкостных сред, отмечены его преимущества перед аппаратами, работающими в стационарном режиме.

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov, R.Kh. Shagimullin,
M.R. Vakhitov, E.I. Galeeva
ACOUSTIC SUPERCHARGERS FOR GAS-LIQUID MEDIA
Keywords: Acoustic energy generator, an acoustic piston blower, a gas jet.

The device and principle of operation of an acoustic gas-liquid media supercharger are considered, and its advantages over devices operating in a stationary mode are noted.

А.О. Аристов
АВТОМАТНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ
КВАЗИКЛЕТОЧНЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: квазиклеточная сеть, циркуляция, конечный автомат, UML, диаграмма состояний.

Рассмотрены аспекты алгоритмической и автоматной реализации циркуляции в квазиклеточных сетях. Показана возможность представления и моделирования процесса циркуляции в квазиклеточной сети в виде конечного автомата. Построены модели работы квазиклеточных сетей на базе UML-диаграмм. Предлагаемые модели позволяют разрабатывать физические и программные симуляторы работы квазиклеточных сетей.

A.O. Aristov
AUTOMATION ASPECTS OF SIMULATION AND
SOFTWARE REALIZATION OF QUASI CELLULAR NETS
Keywords: quasi cellular nets, circulation, state automation, UML, Statechart.

There is programming and automata aspects of circulation in quasi cellular nets. It proves that circulation in quasi cellular nets may be realized as finite automata. Designed models of circulation based on UML. This models may be used for development physical and programming simulators of quasi cellular nets.

В.С. Братыгина, Д.И. Новиков, А.А. Сатаев, Н.В. Герман,
Е.Д. Ермоленко, В.И. Мельников
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С
ГАЗОНАСЫЩЕННЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В МОДЕЛИ
ПЕТЛИ СУДОВОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ

Ключевые слова: переходный процесс, газонасыщенный теплоноситель, закон Генри, температурные пульсации, газовая компенсация объема.

В работе представлены результаты теплофизических исследований в модели петли судовой ядерной энергетической установки. Основной целью является рассмотрение переходных процессов при изменении мощности. Была исследована устойчивость системы при наличии газовой примеси в основном циркуляционном тракте.

V.S. Bratygina, D.I. Novikov, A.A. Sataev, N.V. German,
E.D. Ermolenko, V.I. Melnikov
INVESTIGATION OF TRANSIENT PROCESSES WITH A
GAS-SATURATED COOLANT IN THE SHIP NUCLEAR
POWER PLANT LOOP MODEL

Keywords: transition process, gas-saturated coolant, Henry's law, temperature pulsations, gas volume compensation.

The paper presents the results of thermophysical studies in the ship nuclear power plant loop model. The main goal is to consider transients when power changes. The stability of the system in the presence of a gas impurity in the main circulation path was investigated.

Зай Яр Вин, Т.А. Морозова, А.В. Старков, А.А. Тришин
ФОРМИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
ДОПОЛНЕНИЯ ГЛОНАСС

Ключевые слова: ГЛОНАСС, дополнение, высокоорбитальный космический комплекс, облик орбитальной группировки, проектные параметры, методика.

Представлены результаты формализации задачи совершенствования структуры орбитальной группировки ГЛОНАСС с учетом требований региональных потребителей. Определена задача разработки облика орбитальной группировки дополнения ГЛОНАСС, обеспечивающей наилучшие характеристики спутниковой навигации региональных потребителей, как совместный выбор проектных параметров орбитальной группировки и стратегии коррекции из условия максимальной доступности. Предложена методика и этапы решения поставленной задачи

Zay Yar Win, T.A. Morozova, A.V. Starkov, A.A. Trishin
FORMATION OF ORBITAL PARAMETERS OF
NAVIGATION SPACECRAFT OF THE GLONASS
SUPPLEMENT

Keywords: GLONASS, supplement, high-orbit space complex, shape of the orbital grouping, design parameters, methodology. *The results of formalization of the task of improving the structure of the GLONASS orbital grouping taking into account the requirements of regional consumers are presented. The task of developing the image of the GLONASS complement orbital grouping, which provides the best characteristics of satellite navigation for regional consumers, as a joint choice of the design parameters of the orbital grouping and the strategy of correction from the condition of maximum availability, is defined. The method and stages of solving the problem are proposed.*

Зай Яр Вин, А.В. Старков, А.В. Федоров, А.А. Тришин
КОМПЕНСАЦИЯ ДЕГРАДАЦИИ ОРБИТАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ
ДОПОЛНЕНИЯ ГЛОНАСС

Ключевые слова: ГЛОНАСС, дополнение, высокоорбитальный космический комплекс, эволюция орбитальной группировки, управление, компенсация деградации.

Zay Yar Win, A.V. Starkov, A.V. Fedorov, A.A. Trishin
COMPENSATION FOR DEGRADATION OF ORBITAL
PARAMETERS OF GLONASS HIGH ORBITAL
GROUPING

Keywords: GLONASS, supplement, high-orbit space complex, evolution of the orbital grouping, control, degradation compensation.

Представлены результаты системного анализа и синтеза методов управления траекторией навигационных космических аппаратов высокоорбитального космического комплекса дополнения ГЛОНАСС. Выявлены основные закономерности деградации орбитальных группировок и сформулированы предложения по стратегии коррекции для компенсации ухудшения функциональных возможностей.

В.И. Полуничев, Е.П. Мошарина
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ
РОССИИ. ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Ключевые слова: судовая и малая атомная энергетика, реакторная установка, экология, безопасность.

В данной работе приведена краткая информация об опыте использования атомной энергии в арктической зоне России, ее влиянии на экологию региона.

И.С. Полякова; Ф.Г. Хисамов
НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ,
РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРОВЕДЕНИЕ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ
РАБОТ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Ключевые слова: пусконаладочные работы, расходы, электрооборудование, эксплуатация, испытания, монтаж, наладка.

В данной статье рассмотрены основные нормативно-правовые документы, регламентирующие пусконаладочные работы в РФ, требования к их выполнению. Также в статье выявлены неосвоенные современной нормативно-правовой базой вопросы, одним из которых является признание расходов на пусконаладочные работы, неотраженность которых приводит к двойным способам признания расходов и не нравится современным производителям. Также современная нормативная база не определяет некапитальный характер расходов на пусконаладочные работы.

О.А. Рокачевский, В.В. Слепцов, А.Е. Аблаева,
Динь Ба Фьюнг
СИНТЕЗ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНАТОЙ
ВЫСОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И
УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КВАДРОКОПТЕРА

Ключевые слова: квадрокоптер, сила тяги, передаточная функция, регулятор положения.

В статье изложен пример синтеза контура управления координатой информационно-измерительной и управляющей системы квадрокоптера, способного мониторить различные объекты с целью их охраны и контроля.

Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В АППАРАТЕ
ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения газа, система автоматического управления температурой газа, математическая модель объекта управления, типовые регуляторы, нечеткий регулятор.

В статье рассмотрена система автоматического управления температурой в аппарате воздушного охлаждения (АВО). Сформулирована необходимость исследования методов синтеза САУ как на типовых, так и на нечетких регуляторах. Разработан нечеткий регулятор температуры в АВО. Представлены результаты моделирования САУ с типовым и нечетким регулятором при различных режимах функционирования аппарата воздушного охлаждения.

П.О. Князева
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДООЧИСТКИ
НА ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ
ПЕРМСКОГО КРАЯ

Ключевые слова: фильтровальная станция, алгоритм управления клапаном, водоочистка, мнемосхема процесса приготовления питьевой воды.

The results of system analysis and synthesis of methods for controlling the route of navigation spacecraft of the high-orbit space complex of the GLONASS supplement are presented. The main regularities of the degradation of orbital constellations are revealed and proposals are formulated for a correction strategy to compensate for the deterioration of functional capabilities.

V.I. Polunichev, E.P. Mosharina
NUCLEAR ENERGY FOR THE ARCTIC ZONE OF
RUSSIA. ECOLOGY AND SAFETY

Keywords: ship and small nuclear power, reactor plant, ecology, safety.

This paper provides brief information on the experience of using atomic energy in the Arctic zone of Russia, its impact on the ecology of the region.

I.S. Polyakova, F.G. Khisamov
REGULATORY DOCUMENTS GOVERNING
COMMISSIONING - PROBLEMS AND PROSPECTS

Keywords: Commissioning, Expenses, Electrical Equipment, Operation, Testing, Installation, Adjustment.

This article considers the main regulatory and legal documents governing commissioning in the Russian Federation, requirements for their implementation. The article also revealed issues not disclosed by the modern regulatory framework, one of which is the recognition of the costs of commissioning, the insignificance of which leads to two ways of recognizing costs and is not liked by modern manufacturers. Also, the modern regulatory framework does not determine the non-capital nature of commissioning costs.

О.А. Rokachevsky, V.V. Sleptsov, A.E. Ablava,
Dinh Ba Phuong
SYNTHESIS OF THE HEIGHT COORDINATE CONTROL
LOOP OF THE INFORMATION-MEASURING AND
CONTROL SYSTEM OF THE QUADROCOPTER

Keywords: quadcopter, the thrust, the transfer function of the controller position.

The article presents an example of the synthesis of the control loop of the coordinate of the information measuring and control system of a quadcopter capable of monitoring various objects for the purpose of their protection and control.

N.V. Andrievskaya, O.A. Andrievskiy
RESEARCH OF METHODS OF SYNTHESIS OF THE
TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN
A GAS AIR COOLER

Keywords: aerial cooler apparatus, automated system control for aerial cooler apparatus, mathematical model, PID – regulation, fuzzy controller.

An automated system control of temperature for aerial cooler (AC) was considered in this paper. Necessity of developing automated system control (typical and fuzzy controllers) for aerial cooler apparatus was defined. A fuzzy temperature controller in the AC has been developed. Study of typical and fuzzy controllers on was researched.

P.O. Knyzeva
AUTOMATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS
AT A FILTER STATION OF THE ENTERPRISE
OF PERM TERRITORY

Keywords: filtering station, valve control algorithm, water treatment, mnemonic diagram of the drinking water preparation process.

В статье представлена автоматизация процесса водоочистки фильтровальной станции предприятия Пермского края. Приведен алгоритм управления автоматического поддержания уровня воды в резервуарах с питьевой водой и реализация верхнего уровня технологического процесса водоочистки.

А.Д. Курзанов, Н.В. Кузнецов
ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ
«СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ»

Ключевые слова: принятие решений, технологический процесс, газобетон, вспучивание, управление, комплексный критерий.
Целью данной статьи является выявление особенностей управления процессом производства неавтоклавнога газобетона с использованием программы для ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ». Рассмотрен порядок работы и описаны возможности рассматриваемого программного продукта. Показано, что реализованная в программе система поддержки принятия решений выполняет необходимые расчеты значений параметров управления технологическим процессом, которые позволяют скорректировать общее состояние технологической системы и наладить выпуск продукции требуемого качества. Рассматриваемая программа для ЭВМ «СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НГБ» может быть использована для поддержки принятия решений при управлении процессом структурообразования и набора прочности ячеистобетонного массива на предприятиях по производству изделий из газобетона неавтоклавнога твердения.

А.Б. Сорокин, Л.М. Железняк, Д.В. Супруненко
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: ситуационный анализ.
Рассматриваются вопросы поиска наилучшего решения на основе синтеза моделей байесовской сети и ситуационных представлений. Ситуационный анализ представлен концептуальной структурой принятия решений, которая выступает базисом для проектирования вероятностных моделей.

М.А. Бобров, В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ
ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ
ДВИГАТЕЛЯ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Ключевые слова: электропривод на базе двигателя двойного питания, математическая модель, векторное управление, наблюдатель потокосцепления.
В статье представлены результаты исследований бездатчиковой системы векторного управления электроприводом на базе двигателя двойного питания. Приведены математические модели и синтезированные функциональные схемы двух моделей наблюдателей потокосцепления для данного типа электропривода.

Т.Г. Куликова, Р.Г. Куликов
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЯЗКОУПРУГОГО ПОЛИМЕРА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЕРЕМЕННЫХ МОДУЛЕЙ
Ключевые слова: кристаллизация, полимер, теплокINETическая задача, вязкоупругость, численный подход.

Работа посвящена вопросу описания процесса формирования технологических напряжений в кристаллизующейся полимерной среде в ходе остывания. Рассматривается численный алгоритм, учитывающий зависимость реологического поведения материала от температуры. Предложен подход, основанный на идеологии метода переменных модулей, позволяющий существенно снизить вычислительные затраты. Приведены результаты решения иллюстрационной задачи.

The article presents the automation of the process of water treatment of the filtering station of the enterprise of the Perm territory. Also, an algorithm for the control of automatic maintenance of the water level in reservoirs with drinking water and the implementation of the upper level of the technological process of water treatment.

A.D. Kurzanov, N.V. Kuznetsov
FEATURES OF CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL
PROCESS OF CELLULAR CONCRETE PRODUCTION
USING THE COMPUTER PROGRAM
"STRUKTUROOBRAZOVANIYE NGB"

Keywords: decision making, technological process, aerated concrete, swelling, control, complex criterion.
The purpose of this article is to identify the features of the process control of the production of non-autoclaved aerated concrete using the computer program "STRUKTUROOBRAZOVANIYE NGB". The order of work is considered and the capabilities of the considered software product are described. It is shown that the decision support system implemented in the program performs the necessary calculations of the values of the technological process control parameters, which will allow correcting the general state of the technological system and adjusting the production of products of the required quality. The computer program "STRUKTUROOBRAZOVANIYE NGB" can be used to support decision-making in the management process of structure formation and strength gain of aerated concrete mass at enterprises for the production of non-autoclaved aerated concrete products.

A.B. Sorokin, L.M. Zheleznyak, D.V. Suprunenko
DESIGNING PROBABILITY MODELS BASED ON
SITUATION ANALYSIS

Keywords: situational analysis, conceptual structure, bifurcation point, Bayesian network.
The issues of finding the best solution based on the synthesis of Bayesian network models and situational representations are considered. Situational analysis is represented by a conceptual decision-making structure that serves as the basis for designing probabilistic models.

M.A. Bobrov, V.Y. Artamonov, N.V. Dubov
SIMULATION OF FLUX LINKAGE OBSERVERS FOR
DOUBLY-FED INDUCTION MOTOR DRIVE
Keywords: doubly-fed induction motor drive, mathematical model, field-oriented control, flux linkage observers.

The article presents the research results of a sensorless field-oriented control system for doubly-fed induction motor drive. Mathematical models and synthesized functional diagrams of two models of flux linkage observers for this type of electric drive are given.

T.G. Kulikova, R.G. Kulikov
NUMERICAL MODELING OF THE CRYSTALLIZATION
PROCESS OF A VISCOELASTIC POLYMER USING THE
VARIABLE MODULUS METHOD

Keywords: crystallization, polymer, thermal kinetic problem, viscoelasticity, numerical approach.
The work is devoted to the problem of describing the process of formation of technological stresses in a crystallizing polymer medium during cooling. A numerical algorithm is considered that takes into account the dependence of the rheological behavior of the material on temperature. An approach based on the ideology of the method of variable modulus method is proposed, which allows to significantly reduce computational costs. The results of solving an illustrative problem are presented.

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Я.П. Голубев
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА СО
ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ В МНОГОСЛОЙНОМ
ВЫСОКОПОРИСТОМ ФИЛЬТРЕ

Ключевые слова: высокопористый ячеистый материал, перепад давления, численный расчет, эффективность осаждения частиц.

В данной работе предложен метод создания многослойного высокопористого фильтра, повышающий эффективность осаждения частиц при уменьшении толщины фильтрующего материала. Для проведения исследования была создана начальная модель пористого фильтра толщиной 9 см с диаметром ячейки $d_c = 6$ мм и пористостью $\varepsilon = 0.7$. Впоследствии данная модель была разделена на 9 моделей различной толщины, от 1 до 9 см, с шагом увеличения толщины 1 см. Далее каждая модель разделялась надвое поперечным сечением и поворачивалась на 90, 180 и 270 градусов по оси. Таким образом дополнительно из каждой модели создавалось 3 модели фильтра, состоящие из двух слоев исходной модели. Исследование показало, что при таком способе создания многослойного фильтра наблюдается значительный прирост эффективности осаждения частиц до 43%, который перекрывает увеличение перепада давления (6-10%).

O.V. Soloveva, S.A. Solovev, R.R. Yafizov, Ya.P. Golubev
NUMERICAL SIMULATION OF GAS FLOW WITH
SUSPENDED PARTICLES IN THE MULTILAYER OPEN
CELL FOAM FILTER

Keywords: open cell foam material, pressure drop, numerical simulation, particle deposition efficiency.

In this paper, we propose a method for creating a multi-layer open cell foam filter that increases the efficiency of particle deposition with a decrease in the thickness of the filter material. For the study, an initial model of a porous filter with a thickness of 9 cm with a cell diameter of $d_c = 6$ mm and porosity $\varepsilon = 0.7$ was created. Subsequently, this model was divided into 9 models of different thicknesses, from 1 to 9 cm, with a step of increasing the thickness of 1 cm. Further, each model was divided in two by a cross-section and rotated 90, 180 and 270 degrees along the axis. Thus, in addition, 3 filter models were created from each model, consisting of two layers of the original model. The study showed that with this method of creating a multilayer filter, a significant increase in the efficiency of particle sedimentation is observed up to 43%, which overlaps the increase in pressure drop (6-10%).

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

№1 2021

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 03.02.2021 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 03.02.2021

5,4 усл.печ.л. 7,2 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3190.

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»