

Международная Объединенная Академия Наук

НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Сборник научных трудов

**по материалам
XIX международной научной конференции**

10 февраля 2020 г.

Часть 1



Екатеринбург 2020

УДК 001.1
ББК 60

Н34

Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов по материалам XIX международной научно-практической конференции 10 февраля 2020 г. Часть 1 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2020. – 96 с.

SPLN 001-000001-0577-SR
DOI 10.18411/sr-10-02-2020-p1
IDSP sciencerussia-10-02-2020-p1

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XIX международную научно-практическую конференцию **Наука России: Цели и задачи**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Электронная версия сборника доступна на сайте научно-издательского центра «Л-Журнал». Сайт центра: science-russia.ru

УДК 001.1
ББК 60

SPLN 001-000001-0577-SR

<http://science-russia.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	5
Балтрашевич В.Э. К вопросу получения и представления знаний о процессах.....	5
Гатауллина Л.А., Мешанов А.С., Нуртдинов А.А., Сиразетдинов Р.Т. Управление многомерными нелинейными объектами на скользящих режимах с учётом неопределённых факторов и его применение	10
Тащилин Л.Н. Место гидро - и пневмоприводов в современной технике	43
РАЗДЕЛ II. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	51
Сулова С.А., Штыркина Т.В., Горшкова И.С. Автоматизированный расчёт и сравнительный анализ технологических показателей воды	51
Чернышов Б.А., Чопоров О.Н. Рейтинговое управление повышением конкурентоспособности объектов организационных систем на основе оптимизации ресурсной поддержки	55
РАЗДЕЛ III. КОСМОС И АВИАЦИЯ	60
Мусин С.М., Волынский В.Ю. Компетенции специалиста органа аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте.....	60
РАЗДЕЛ IV. МАТЕМАТИКА	66
Горский М.А. Оценка перспектив использования показателя средневзвешенной стоимости капитала при анализе эффективности производственной деятельности предприятий.....	66
РАЗДЕЛ V. ЭНЕРГЕТИКА	74
Кузина Е.С. Анализ основных проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы России.....	74
РАЗДЕЛ VI. НАУКИ О ЗЕМЛЕ	78
Ковдерко В.Э. Деградация и прогресс наук естественного профиля	78

РАЗДЕЛ VII. РАДИОТЕХНИКА	82
Поленин В.И. Прогноз профиля уровня сигнала обратного рассеяния электромагнитного излучения лидара в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта.....	82
РАЗДЕЛ VIII. АРХИТЕКТУРА	87
Печенкина Ю.В. Создание живых пространств на основе принципов древней индийской архитектуры.....	87
РАЗДЕЛ IX. БИОТЕХНОЛОГИИ	91
Кривов И.А., Рагимов А.А., Салимов Э.Л. Коагуляционный потенциал лиофилизированной плазмы инактивированной методом рибофлавин+ ультрафиолетовое облучение спектра В.	91

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Балтрашевич В.Э.

К вопросу получения и представления знаний о процессах

*Санкт-Петербургский Государственный электротехнический университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-01

idsp: sciencerussia-10-02-2020-01

Аннотация

На примере простейшей предметной области демонстрируется процесс извлечения знаний о процессах. Подчеркивается необходимость различать процесс извлечения знаний (ПИЗ) и исследуемый процесс (ИП). Отмечаются особенности обоих процессов. Для анализа ИП используется системный анализ, который лежит в основе ПИЗ. Анализируются различные формы представления знаний об ИП. Рассматриваются различные программные средства, поддерживающие ПИЗ об ИП.

Ключевые слова: знания о процессах, системный анализ, формы представления знаний, process mining, цепи Маркова

Abstract

The process of extracting knowledge about processes is demonstrated using the simplest domain as an example. The need to distinguish between the process of extracting knowledge (PIP) and the process under study (IP) is emphasized. The features of both processes are noted. For the analysis of IP, a system analysis is used, which is the basis of the PIP. Various forms of representing knowledge about IP are analyzed. Various software tools supporting PIP about IP are considered.

Keywords: knowledge of processes, system analysis, forms of knowledge representation, process mining, Markov chains

В настоящее время особое внимание уделяется извлечению знаний о процессах (process mining) [1]. Но в большинстве работ исследования проводятся для бизнес-процессов, что затрудняет выделение этапов ПИЗ. Поэтому представляется целесообразным взять в качестве предметной области простую область, например, область аналого-цифрового преобразования (ацп-я). Это позволит показать process mining (получение знаний о процессах) на простом примере, не отвлекаясь на тонкости предметной области, а акцентируя внимание на изучении (и в дальнейшем - формализации) процесса получения знаний об изучаемом процессе. При анализе ИП надо различать процесс и генератор (источник) процесса. Так аналого-цифровой преобразователь (АЦП) при воздействии входного сигнала является генератором процесса, на выходе которого имеем исследуемый процесс, состояниями которого являются числовые эквиваленты и ответы схемы сравнения (в которых косвенно учитывается входной сигнал).

Использование получения и представления знаний об ИП позволяет:

1. *Получить описание ИП на понятном (для специалистов анализируемой предметной области) языке.*
2. *Однотипно проанализировать работу генераторов и ИП в различных режимах.*
3. *Выявить используемые шкалы (единицы измерения).*

4. Проанализировать различные формы представления знаний о состояниях ИП.
5. Выявить базовые действия, входящие в ИП.
6. Легко корректировать полученные знания.
7. Использование разных форм представления знаний на разных этапах системного анализа.
8. Наглядно представить граф ИП в графическом виде, что позволит легко определить полноту базы знаний, понять ИП и его модернизировать.
9. Улучшить характеристик существующих систем за счёт синтеза обновлённых систем.

Чтобы получить знания о процессе его надо подробно исследовать, т.е. провести системный анализ [9]. Системный анализ включает в себя использование строгих математических методов и эвристик по их совместному использованию, для реализации которых часто используются экспертные системы (ЭС). Таким образом, системный анализ лежит в основе process mining. При этом надо выявить и обособить знания и о ПИЗ и об ИП.

Раньше пытались создавать средства (средства ПИЗ) для однотипного описания различных алгоритмов ацп_я (ИП). Выявлялись базовые действия ИП и разрабатывались языки описания функционирования (ЯОФ) генераторов. При разработке ЯОФ был использован аппарат регулярных выражений и метод рекурсивного спуска [7]. Но такое представление знаний было неудобно из-за 1. требования знания программирования, пусть и на более высоком уровне; 2. перекомпиляции программы на ЯОФ при изменении ИП; 3. трудностей при создании новых генераторов процессов; 4. трудностей при проверке полноты базы знаний.

Очевидно, что ЯОФ являются средствами ПИЗ. Как известно, весьма полезным является представление описание процесса с помощью графов. Для ЯОФ граф представлялся в виде блок-схемы, элементами которой были базовые действия, связанные между собой классическими процессами программирования (линейный, ветвящийся, циклический). Блок-схема является графом базы знаний о работе генератора процесса. Т.е. в этих разработках **описание генератора было первичным, а порождаемый процесс был вторичным**. Действия, конечно, использовали и цифровой код и ответы схемы сравнения, но в скрытом (от пользователя) виде. Как показала практика, полезность такого представления знаний для анализа существующих и разработки новых генераторов (а тем более самих процессов) – затруднительна.

При подходе, используемом в process mining, **первичным является описание процесса, а вторичным – описание генератора**. Работа process mining базируется на анализе экземпляров процессов. Блок-схема является графом базы знаний о работе генератора процесса. Графом процесса является граф переходов состояний в зависимости от ответов схемы сравнения [4].

Рассмотрим наш генератор (источник) исследуемого процесса как черный ящик. Берём какой-либо сигнал, например, синусоидальный, подаём на вход ящика. Ящик работает и создаёт экземпляры процесса. Получаем журнал событий (англ. event logs), в котором фиксируются возможные экземпляры процессов. Заметим, что выявление экземпляров - это этапы ПИЗ. Под событием понимаем пару: образцовый уровень, ответ схемы сравнения. Пытаемся построить граф, отражающий формальное описание процесса на основе журнала. Нарисовать полный граф ИП по нескольким экземплярам процесса не удастся.

Для примера, строим частичный граф поразрядного трех разрядного преобразователя (в двоичном коде) при обработке конкретного сигнала, равного 4.5. Видим 100 (110 101)... 100, т.е. начинаем и кончаем в одном состоянии. Как их различить? Видно, что нужно использовать два уровня по времени. (000 100) (100 110) (110 101) (101 100), т.е. начинаем и кончаем в разных состояниях и к каждому из них могут быть применены свои действия.

Графическое представление облегчает анализ процесса: 1. видно, что база знаний (граф) построенная по частичным процессам не является полной, т.е. отсутствуют все возможные переходы; 2. видно, что не всегда достаточно одного образцового уровня, а надо два или более; 3. видны выходы за границы диапазона.

Был предложен подход, базирующийся на экземплярах процессов, которые предлагалось рассматривать как цепи Маркова [2 – 6, 8, 10, 11]. Появилась возможность однотипно описывать различные процессы (алгоритмы) ацп-я и возможность разработки и создания широкого круга инструментальных средств по их анализу. Под инструментальными средствами понимаем средства, которые остаются неизменными и позволяют только менять описания исследуемых процессов.

Выбираем классические (хорошо отлаженные) алгоритмы. Берем их программную (процедурную) реализацию и на ней проверяем правильность разрабатываемого подхода. После чего можем разрабатывать новые структуры генераторов, порождающих исследуемые процессы и их анализировать, извлекая знания и их используя.

Предложен способ и его реализация построения полного графа (по существующей процедуре преобразования) [8]. Т.е. разработана инструментальная система построения полного графа (средство ПИЗ). Её целесообразно снабдить средствами редактирования и пересортировки графа ИП. Разработанная программа (инструментальная система) генерации всех состояний и их переходов, строит (это этапы ПИЗ) таблицу состояний и их нумерации, и таблицу возможных переходов. Таблицы – это знания об ИП. Построение таблиц – это этапы ПИЗ.

Можем строить графы различных процессов. Используя эти средства можно разрабатывать новые процессы преобразования – ИП. Эксперт рисует граф процесса из своих представлений о повышении эффективности. Для проверки работоспособности предложенного алгоритма (для детального пошагового анализа) используется имитационное моделирование, как составная часть системного анализа.

Существуют два способа реализации (имитации) работы графа ИП.

1. По матрице переходов и по матрице состояний строим правила продукции.

2. Эксперт должен проанализировать переходы между состояниями в зависимости от ответов схемы сравнения и подобрать базовые действия для их реализации. Чтобы облегчить эксперту (не специалисту в программировании) описание процессов, предлагается использовать инструментальные экспертные системы, в которых базовые действия задаются с помощью глубинных знаний, а сам процесс описывается на языке продукций, близком к естественному.

Проводим имитационное моделирование при разных входных сигналах (соответствующих наиболее часто встречающимся распределениям). Анализируем протекание ИП. Поучаем характеристики ИП, которые являются декларативными знаниями об ИП (этап ПИЗ). Проверяем шкалы, корректируем шкалы (это этапы ПИЗ). А результаты – характеристики ИП.

Инструментальная система (программа) имитационного моделирования (этап ПИЗ). Исполняющей системой в этом случае является инструментальная ЭС.

Системный анализ требует проведения двухэтапного анализа, т.е. наряду с имитационным моделированием требует проведения статистического или вероятностного моделирования. Введённое ранее представление знаний о процессе с помощью таблиц номеров состояний и таблицы переходов состояний позволяет использовать аппарат цепей Маркова для проведения вероятностного моделирования изучаемого процесса. Причем заметим – аналитического анализа.

Разработана инструментальная система вероятностного моделирования (этап ПИЗ). Вероятностный анализ – это вариант интегрального подхода к анализу. Программа вероятностного моделирования позволяет выявить возможности повышения точности преобразования.

Следует отметить, что представление процесса и в виде таблиц и в виде графа и в виде описания на языке эксперта являются различными формами представления знаний о процессе (ИП). Возможно их взаимное преобразование, т.е. компиляция знаний.

Заметим, что везде в ходе изложения акцентировалось внимание, к каким процессам относятся те или иные действия. (ПИЗ, сам ИП, генератор ИП).

Выше были выявлены этапы (составляющие) ПИЗ и этапы (составляющие) ИП. Они приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Составляющие ПИЗ и ИП

ПИЗ	ИП
<i>Выявление шкал</i>	<i>Коррекция шкал</i>
<i>Выявление базовых действий.</i>	<i>Набор базовых действий ИП</i>
<i>Разработка и использование ЯОФ</i>	<i>Описание ИП на ЯОФ</i>
<i>Построение графа ИП (блок-схема)</i>	<i>Блок-схема ИП</i>
<i>Выявление экземпляров ИП</i>	<i>Набор экземпляров ИП</i>
<i>Инструментарий для выбора состояний</i>	<i>Набор (множество) состояний</i>
<i>Построение частичного графа состояний</i>	<i>Граф состояний (не полный)</i>
<i>Инструментальная система имитационного моделирования</i>	<i>Имитационное моделирование ИП</i>
<i>Технология (инструментальная система) построения всех состояний и их связи</i>	<i>Таблица номер-состояние и таблица переходов ИП</i>
<i>Графический (инструментальная система) редактор построения графа состояний</i>	<i>Полный граф состояний и их переходов</i>
<i>Построение матрицы переходных вероятностей</i>	<i>Матрица переходных вероятностей ИП</i>
<i>Инструментальная система (программа) вероятностного моделирования</i>	<i>Вероятностный анализ и вероятностное моделирование ИП</i>
<i>Разработка форм представления знаний</i>	<i>Формы представления знаний об ИП</i>
<i>Инструментальные системы (программы) взаимного преобразования (компиляции) форм представления знаний</i>	<i>Различные формы представления знаний</i>

Таким образом, в работе рассматривается опыт использования системного анализа для получения знаний о процессе ацц_я. При этом рассматривались следующие задачи:

- построение оптимальной шкалы квантования, при этом с одной стороны используются строгие математические методы адаптивного обучения, обеспечивающие достижение экстремума некоторого функционала определяемого задаваемой метрикой, с другой стороны, необходимо провести коррекцию шкалы (т.е. оптимизацию по эвристическому критерию) на основании рекомендаций эксперта, стремящегося упростить техническую реализацию шкалы. Особое внимание уделяется вопросам, связанным с представлением шкал и с представлением знаний, позволяющих корректировать параметры

шкалы и организовывать связь с пользователем. Решение задачи построения оптимальных шкал демонстрирует процесс формирования значений атрибутов при формализации знаний в трудно формализуемых предметных областях, т.е. один из аспектов обучения экспертных систем;

- в соответствии с принципом двухэтапной оптимизации системного анализа, генераторы ИП должны быть проанализированы в двух режимах: при воздействии детерминированного сигнала и при воздействии детерминированного сигнала с наложенным на него некоторым шумом, а также при воздействии случайного процесса. Это приводит к необходимости реализации имитационного и вероятностного моделирования;
- описание структур аналого-цифровых преобразователей (генераторов ИП). Обсуждается представление базовых элементов, позволяющих описывать генераторы ИП с помощью многократных и многомерных цепей Маркова;
- описание ИП с помощью различных форм представления знаний, при этом рассматриваются задачи двух классов: формализация знаний эксперта с помощью специальных редакторов и автоматическое формирование знаний о процессе преобразования уже готового АЦП. Реализация редакторов базируется на объектах, описывающих элементы АЦП, и связанных с ними действиях, и позволяет описывать процесс преобразования на языке близком к естественному языку;
- компиляция знаний о процессе преобразования, описанного с помощью одной из форм представления знаний и отлаженного с помощью имитационного и вероятностного моделирования;
- имитационное и вероятностное моделирование процесса аналого-цифрового преобразования (ИП) заданных структур АЦП (генераторов ИП).

1. Анализ данных и процессов: учеб. пособие/А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод и др. -3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512с.
2. Балтрашевич В.Э. Использование цепей Маркова для вероятностного анализа аналого-цифровых преобразователей. "Изв. ВУЗов. Электромеханика", 1977, №11. с.1195-1200.
3. Балтрашевич В.Э. Вероятностный анализ следящих АЦП. «Известия ЛЭТИ», 1981. вып.291. с.11-16.
4. Балтрашевич В.Э. Моделирование процесса аналого-цифрового преобразования. «Известия ЛЭТИ», 1981. вып.293. с.78-82.
5. Балтрашевич В.Э. Анализ процесса преобразования в многоуровневых аналого-цифровых преобразователях. "Изв. ВУЗов. Электромеханика", 1983, №5. с.56-59.
6. Балтрашевич В.Э. Диалоговая САПР следящих АЦП. //Автоматизированное проектирование в радиоэлектронике и приборостроении: Межвуз. сб. науч. тр. /ленингр. электротехн. ин-т им. В.И.Ульянова (Ленина). – Л., 1987. – с.84-87.
7. Балтрашевич В.Э., Тихомирова Е.А. Вероятностное моделирование следящих АЦП. №50860000992. Инф. бюллетень «Алгоритмы и программы» ВНИИЦентра. – 1987. – вып.5.
8. Балтрашевич В.Э., Интеллектуальная поддержка системного анализа информационных процессов // Известия ЛЭТИ.-СПб.: Изд-во СПб ГЭТУ<ЛЭТИ>,2002.-С. 27-31.
9. Балтрашевич В.Э. Представление знаний о процессах с помощью цепей Маркова. //Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. №9. С. 22 – 24.
10. Балтрашевич В.Э. Анализ процесса аналого-цифрового преобразования с помощью цепей Маркова. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017611042. 2017.

Гатауллина Л.А., Мешанов А.С., Нуртдинов А.А., Сиразетдинов Р.Т.
**Управление многомерными нелинейными объектами на скользящих режимах с
 учётом неопределённых факторов и его применение**

Казанский национально-исследовательский технический университет им. А.Н.
 Туполева
 (Россия, Казань)

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-02

idsp: sciencerussia-10-02-2020-02

Аннотация

Для динамических систем с нелинейными объектами разработаны новые методы формирования управлений подвижных многообразий скольжения и векторных управлений, приводящих систему в скользящие режимы в условиях постоянного действия на систему управления неопределённых факторов: ограниченных возмущений и погрешностей измерений (в частности, запаздывания в передаче и обработке данных измерений). Развиваются результаты, полученные ранее по исследованию инвариантности систем управления при погрешностях измерений [1] и воспроизведению модельного движения на многошаговом скользящем режиме [2] (результаты, относящиеся к решению первой задачи из далее двух поставленных задач). Исследуются случаи, когда уравнения динамики датчиков неизвестны или не учитываются и суммарные (систематические и случайные [3, 4]) погрешности измерений являются неопределёнными. Объединяются преимущества скользящего режима и многошагового терминального управления при действии неопределённых возмущений. Обеспечивается тождественное, либо с заданной точностью, воспроизведение модельных движений. Рассмотрено применение методов на примере управления агрегированной системой экономических объектов.

Ключевые слова: динамическая система, подвижные многообразия, скользящий режим, многошаговый скользящий режим, многошаговое терминальное управление, неопределённые возмущения, погрешность измерений

1. Постановка задачи.

Рассматривается нелинейная управляемая система

$$\dot{x} = f(x, t) + B(x, t)u + D(x, t)F(t), \quad (1)$$

где $t \in I = (t_0, t_k]$, $t_k < \infty$, $x \in \Omega_x \subset R^n$, $u \in \Omega_u \subset R^m$, $F \in \Omega_F \subset R^l$ и

$$\begin{aligned} f &= f_0(x, t) + \Delta f(x, t), & B &= B_0(x, t) + \Delta B(x, t), \\ D &= D_0(x, t) + \Delta D(x, t), & F &= F_0(t) + \Delta F(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Номинальные (с индексом «0») и неопределённые (с символом « Δ ») составляющие в суммах (2) содержит в свою очередь слагаемые

$$\begin{aligned} f_0 &= f_0^M + f_0^1 + f_0^2, & B_0 &= B_0^M + B_0^1, & D_0 &= D_0^{M1} + D_0^1, \\ \Delta f &= \Delta f^1 + \Delta f^2, & \Delta B &= \Delta B^1, & \Delta D &= \Delta D^1 + \Delta D^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Индекс «м» означает здесь совпадение составляющих слагаемого с функциями слагаемых правой части вводимой далее модельной системы, индекс «1» - выполнение условий инвариантности скользящего режима к данной номинальной или неопределённой составляющей, индекс «2» - невыполнение условий инвариантности.

Развивая условия инвариантности [5] на случай подвижного $(n - m)$ – мерного многообразия скольжения

$$S(s = (s_1, \dots, s_m)^T) = C(t)x = 0, \quad C - m \times n, \quad (4)$$

получаем их в виде

$$\begin{aligned} f_0^1 &= B_0^M \Lambda_1, & B_0^1 &= B_0^M \Lambda_2, & D_0^{M1} &= B_0^M \Lambda_3, & D_0^1 &= B_0^M \Lambda_4, \\ \Delta f^1 &= B_0^M \Lambda_5, & \Delta B^1 &= B_0^M \Lambda_6, & \Delta D^1 &= B_0^M \Lambda_7, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$\Lambda_1 - m \times 1$, $\Lambda_2 - m \times m$, $\Lambda_3 - m \times l$, $\Lambda_4 - m \times l$, $\Lambda_5 - m \times 1$, $\Lambda_6 - m \times m$, $\Lambda_7 - m \times l$ - матрицы функций от x и t ; матрицы $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3, \Lambda_4$ являются известными, а $\Lambda_5, \Lambda_6, \Lambda_7$ имеют неопределённые ограниченные элементы.

Пусть вектор состояния $x(t)$ системы (1) представляют собой отклонение вектора полного (абсолютного) движения $X(t)$ от программного $X_{np}(t)$

$$x(t) = X(t) - X_{np}(t). \quad (6)$$

В управлении u применяется вычисляемый вектор x_δ

$$x_\delta = X_\delta - X_{np} = x + \Delta x, \quad (7)$$

где $X_\delta(t)$ - $m \times 1$ - вектор показаний датчиков состояния системы в полных координатах, $X_\delta = X + \Delta X$; $\Delta X = \Delta x$ - вектор погрешностей измерений.

Замечание 1. Если вектор x в системе (1) представляет собой полное движение, то в выражениях (6), (7) полагается $X_{np}(t) \equiv 0$ (так как $X_{np}(t)$ в этом случае учитывается только при формировании управления и желаемого движения $x_M(t) \equiv X_M(t)$, вводимой далее модельной системы).

Тогда получаем

$$x(t) = X(t), \quad x_\delta = x + \Delta x = X_\delta = x_\delta, \quad (8)$$

где $x_\delta - n \times 1$ - вектор показаний датчиков состояния системы (1). Это положение относится и к получаемым далее результатам.

Если динамика показаний датчиков является известной, то она может быть представлена дифференциальными уравнениями в форме «вход-выход»

$$(a_{0i} p^{N_i} + a_{1i} p^{N_i-1} + \dots + a_{N_i}) X_{i\delta} = (b_{1i} p^{N_i-1} + \dots + b_{N_i}) X_i, \quad (9)$$

где $p \equiv \frac{d}{dt}$, $i = \overline{1, n}$,

или в нормальном виде [6]

$$\dot{\eta} = G\eta + HX, \quad X_\delta = L\eta + MX, \quad (10)$$

где $X_\delta = x + \Delta x + X_{np}$, $n \times n$ -матрица M является ненулевой при $a_{0i} = 0$ для

хотя бы одного из значений $i = \overline{1, n}$, $\eta - rx1$, $r = \sum_{i=1}^n N_i - d$, d - число нулевых

a_{0i} . В частности, если погрешности измерений вызваны чистым запаздыванием τ_i , имеем уравнение (9) в виде [7]

$$(a_{0i} p^3 + \tau_i^2 p^2 + 6\tau_i p + 12) X_{i\delta} = (\tau_i^2 p^2 - 6\tau_i p + 12) X_i, \quad (11)$$

где $a_{0i} = 0, i = \overline{1, n}$, и в уравнениях (10) $r = 3n - n$, $G - r \times r$ - блочно - диагональная матрица с элементами

$$G_{ii} = \begin{pmatrix} 0 & -12/\tau_i^2 \\ 1 & -6/\tau_i \end{pmatrix}; \quad H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \cdot & 0 \\ -12/\tau_1 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & -12/\tau_2 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & -12/\tau_n \end{pmatrix} - r \times n;$$

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1/\tau_1^2 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 1/\tau_n^2 \end{pmatrix} - n \times r; \quad M = E - n \times n.$$

Система (1) с уравнениями датчиков (10) для возможности применения ранее разработанных авторами методик представляется как содержащая не два неизвестных вектора (x и η при известном векторе X_∂), а три: x, η и Δx . С этой целью дифференцируем соотношение

$$\Delta x = X_\partial - (x + X_{np}) = L\eta + M(x + X_{np}) - (x + X_{np}),$$

следующее из соотношений (7),(10), и получаем систему:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f + Bu + DF, \\ \dot{\eta} + G\eta + H(x + X_{np}), \\ \Delta \dot{x} &= L(G\eta + Hx + HX_{np}) + (M - E)(f + Bu + DF) + (M - E)\dot{X}_{np}. \end{aligned} \tag{12}$$

Вводятся модельные системы. Для исходной системы (1) модельная система не содержит никаких неопределённых возмущений:

$$\dot{x}_M = f_0^M(x_M, t) + B_0^M(x_M, t)u_M + D_0^{M1}F_0, \tag{13}$$

где оптимальное в каком-либо смысле модельное управление u_M формируется по любому из известных принципов управления.

Для системы (12) модельное движение формируется также с использованием показаний датчиков с уравнениями (9), (10). Тогда для векторов $x_M, \eta_M, \Delta x_M$ получаем модельную систему в виде:

$$\begin{aligned} \dot{x}_M &= f_0^M + B_0^M u_M + D_0^{M1} F_0, \\ \dot{\eta}_M &= G\eta_M + H(x_M + X_{np}), \\ \Delta \dot{x}_M &= L(G\eta_M + Hx_M + HX_{np}) + (M - E)(f_0^M + B_0^M u_M + D_0^{M1} F_0) + \\ &+ (M - E)\dot{X}_{np}. \end{aligned} \tag{14}$$

Формируются подвижные многообразия скольжения. Для системы (1) они формируются с применением только вычисляемого вектора x_g

$$S(s = (s_1, \dots, s_m)^T = C(t)x_g = 0), \quad C - m \times n. \tag{15}$$

Для системы (12) используются векторы x_g, η и Δx :

$$S(s = (s_1, \dots, s_m))^T = C^1(t)x_g + C^2(t)\eta + C^3(t)\Delta x = 0, \quad (16)$$

где $C^1, C^3 - m \times n$ и $C^2 - m \times r$ - матрицы переменных в общем случае коэффициентов.

Задача 1. Исследовать случай, когда уравнения датчиков не учитываются или неизвестны и погрешности измерений $\Delta x, \Delta \dot{x}$ являются неопределёнными: найти условия инвариантности к неопределённым возмущениям $(\Delta f^1, \Delta B^1, \Delta D^1)$ и к отличиям от модельной системы (f_0^1, B_0^1, D_0^1) скользящих режимов в системе (1) на многообразии S (15); найти методы формирования матрицы $C(t)$ для воспроизведения с начального момента времени $t = t_0$ модельного движения системы (13) с заданной точностью и разрывного управления u , приводящего систему (1) в такой скользящий режим.

Задача 2. Исследовать случай, когда уравнения датчиков известны и учитываются: найти методы формирования матриц $C^i(t), i = \overline{1,3}$ многообразия S (16) и разрывное управление u для системы (12) такие, чтобы в скользящем режиме с начального момента времени $t = t_0$ тождественно или с заданной точностью воспроизводилось модельное движение системы (14).

Применение разработанных методов управления показывается на решении задачи вывода агрегированной системы экономических объектов (АСЭО) на заданную мощность в условиях постоянного воздействия неопределённых ограниченных возмущений, неопределённых погрешностей измерений и запаздывания в передаче и обработке информации о состоянии системы.

Решение задачи 1.

2. Скользящий режим в условиях неопределённых погрешностей измерений.

Для применения известных методов вывода уравнений скользящего режима на многообразии S (15) в системе (I) предварительно переходим в координаты вектора $x_g = x + \Delta x$:

$$\dot{x}_g = f(x_g - \Delta x, t) + B(x_g - \Delta x, t)U + D(x_g - \Delta x, t)F(t) + \Delta \dot{x}. \quad (17)$$

В системе (17) продолжают выполняться условия инвариантности (5), в которых вектор x заменяется на разность $x_g - \Delta x$. Поэтому в результате применения и развития на случай подвижного многообразия S (15), например, известного метода эквивалентного управления В. И. Уткина [5] получаем систему скользящего режима

$$\begin{aligned} \dot{x}_g = [E - B_0^M (CB_0^M)^{-1} C](f_0^M + f_0^2 + \Delta f^2 + \Delta D^2 F + \Delta x) - \\ - B_0^M (CB_0^M)^{-1} Cx_g, \quad x_g \in S, \end{aligned} \quad (18)$$

инвариантную к неопределёностям $\Delta f^1, \Delta B^1, \Delta D^1$ и известным отличиям от модели f_0^1, D_0^1 . В данной системе и далее предполагается, что выполняется обычное для существования скользящего режима условие

$$|C(t)B(x_g - \Delta x, t)| \neq 0 \quad (19)$$

и учитывается соотношение

$$B = B_0^M (E + \Lambda_2 + \Lambda_6), \quad B(CB)^{-1} = B_0^M (CB_0^M)^{-1},$$

где $|E + \Lambda_2 + \Lambda_6| \neq 0$ и $|CB_0^M| \neq 0$ в силу условия (19).

Возвращаясь к системе (18) в координатах вектора x , окончательно получаем систему скользящего режима в виде

$$\dot{x} = [E - B_0^M (CB_0^M)^{-1} C](f_0^M + f_0^2 + \Delta f^2 + \Delta D^2 F) - B_0^M (CB_0^M)^{-1} [\dot{C}(x + \Delta x) + C\Delta\dot{x}], \quad (20)$$

где $x + \Delta x = x_g \in S$ (15) и элементы матриц $B_0^M, \Delta D^2$ и столбцов $f_0^M, f_0^2, \Delta f^2$ являются функциями x, t как и в системе (1).

Из системы (20) непосредственно следует зависимость скользящего режима только от тех неопределённостей $\Delta f^2, \Delta D^2 F$ и известных отличий f_0^2 системы (1) от модели (13), которые не удовлетворяют условиям инвариантности (5) (при $x = x_g - \Delta x$), а также зависимость от неопределённых ошибок измерений $\Delta x, \Delta\dot{x}$.

3. Воспроизведение модельного движения на многошаговом скользящем режиме.

Если бы система скользящего режима (20) не зависела от $f_0^2, \Delta f^2, \Delta D^2 F$ и $\Delta x, \Delta\dot{x}$, то на нём можно было бы тождественно воспроизвести желаемое модельное движение системы (13) с начального момента времени $t = t_0$. Действительно, полагая

$$x_M(t_0) = x(t_0) \quad (21)$$

и приравняв правые части данных систем, в результате несложных преобразований получаем достаточное условие в виде

$$\dot{C} = -CA(x_M, u_M, F_0, t), \quad (22)$$

где начальное состояние $C(t_0)$ для тождественного воспроизведения с момента времени $t = t_0$ должно удовлетворять равенству

$$C(t_0)x_g(t_0) = 0, \quad x_g(t_0) = x(t_0) + \Delta x(t_0), \quad (23)$$

а $n \times n$ - матрица A является сомножителем в произведении

$$R(x_M, u_M, F_0, t) = Ax_M, \quad (24)$$

где $R = (R_1, \dots, R_n)^T = f_0^M(x_M, t) + B_0^M(x_M, t)(u_M + \Lambda_3(x_M, t)F_0(t))$.

Матрица $A = (A^1, \dots, A^n)$, где A^j её столбцы, допускает произвольное задание $n^2 - n$ элементов. Например, при $A^1 = (R_1, \dots, R_n)^T / x_{M1}$ и $A^j = (0, \dots, 0)^T, j = \overline{2, n}$, система mn дифференциальных уравнений (22) преобразуется в систему n уравнений

$$\dot{C}^1 = -CA^1 \quad (25)$$

с постоянными элементами $n \times 1$ - столбцов $C^2 = C^2(t_0), \dots, C^n = C^n(t_0)$ $m \times n$ - матрицы $C = (C^1, \dots, C^n)$, которые вместе с $C^1(t)$ должны удовлетворять условию (23). Для возможности выполнения условия (21) тождественного воспроизведения предполагается, что начальное состояние исходной системы (1) $x(t_0)$ точно известно.

Данный метод построения матрицы $C(t)$ предлагается использовать и при $\Delta f^2 \neq 0$, $\Delta D^2 F \neq 0$, $f_0^2 \neq 0$, $\Delta x \neq 0$, $\Delta \dot{x} \neq 0$, но в многошаговом скользящем режиме, когда матрица $C(t)$ строится заново по системе (22) в начале $t = t_i$ каждого шага $t \in I_i = (t_i, t_{i+1}]$, $i = \overline{0, k-1}$, разбиения рассматриваемого промежутка времени $I = (t_0, t_k]$ при начальных условиях $C(t_i)$, удовлетворяющих равенствам $C(t_i)(x(t_i) + \Delta x(t_i)) = 0$ не только для $i = 0$ (23), но и для $i = \overline{0, k-1}$. Модельное управление u_M в этом случае является многошаговым и строится по модели (13) по известным начальным условиям $x(t_i)$

$$x_M(t_i) = x(t_i), \quad i = \overline{0, k-1}. \quad (26)$$

В частном случае, при заданной конечной точке $x_M(t_k) = x(t_k) = x^*$, управление u_M может быть и терминальным, то есть многошаговым терминальным управлением (МТУ) [8].

Покажем, что такой метод управления позволяет при относительно малых шагах I_i обеспечивать заданную точность воспроизведения модельного движения с начального момента времени $t = t_0$. Представим модельную систему (13) как систему скользящего режима на многообразии $S(s = C(t)x_M = 0)$. При нахождении матрицы $C(t)$ с начала $t = t_i$ каждого шага по системе (22) имеем равенство $\dot{C}x_M = -CAx_M = R$, откуда следует, что

$$u_M = -(CB_0^M)^{-1}(Cf_0^M + CD_0^{M1}F_0 - \dot{C}x_M).$$

Подставляя данное выражение u_M в правую часть модельной системы (13), получаем систему скользящего режима

$$\dot{x}_M = [E - B_0^M (CB_0^M)^{-1} C]f_0^M - B_0^M (CB_0^M)^{-1} \dot{C}x_M, \quad (27)$$

где $t \in I_i$, $x_M \in S(s = C(t)x_M(t) = 0) \forall t \in I_i$, выполняется условия (26) и элементы матрицы B_0^M и столбца f_0^M являются функциями x_M, t . Представляя в системе скользящего режима (20) вектор x в виде суммы $x = x_M + Z$ и вычитая модельную систему (27) из системы (20), получаем на каждом шаге I_i систему в отклонениях Z от модельного движения: (28)

$$\dot{Z} = (\varphi(x_M + Z, t) - \varphi(x_M, t)) + (E - B_0^M(x_M + Z, t)(CB_0^M)^{-1}C)(f_0^2(x_M + Z, t) + \Delta f_2^2(x_M + Z, t) + \Delta D^2(x_M + Z, t)F) - B_0^M(x_M + Z, t)(CB_0^M)^{-1}(\dot{C}\Delta x + C\Delta \dot{x}),$$

где

$$\varphi(x_M + Z, t) = [E - B_0^M(x_M + Z, t)(CB_0^M)^{-1}C]f_0^M(x_M + Z, t) - B_0^M(x_M + Z, t)(CB_0^M)^{-1} \times \dot{C}(x_M + Z).$$

Учитывая ограниченность по норме векторов $x_M(t)$, нулевые начальные условия $Z(t_i) = 0$ и применяя лемму Гронуолла-Беллмана к интегральной форме записи системы (28), приходим при достаточно малых длинах шагов I_i и норм

начальных условий $C(t_i)$ в системах (22), (25) к выводу о возможности выполнения ограничений $\|Z(t)\| \leq \varepsilon \forall t \in I_i, i = \overline{0, k-1}$, при заданной точности ε воспроизведения модельного движения.

Отметим, что в данном методе многошагового скользящего режима точная информация о векторе $X(t)$ требуется уже не только в момент $t = t_0$, но и в начале $t = t_i$ всех k шагов построения управления.

4. Построение разрывного управления с неопределёнными погрешностями измерений.

Для приведения системы (17), а с ней и системы (1), в скользящий режим на многообразии S (15) разрывное управление u представим в виде суммы

$$u = u_0 + u_{\Delta}, \quad (29)$$

где u_0 решает задачу при отсутствии неопределённых возмущений $\Delta f, \Delta B, \Delta D, \Delta F$ и неопределённых ошибок измерений $\Delta x, \Delta \dot{x}$, а составляющая u_{Δ} подавляя их влияние соответственно в случаях их противодействия или способствования процессу приведения. В построении управления используются: разложение производной \dot{s} , определяемой в силу системы (17), в виде суммы [9]

$$\dot{s} = (\dot{s}_1, \dots, \dot{s}_m)^T = \dot{s}_0 + \dot{s}_{\Delta}, \quad \dot{s}_i = \dot{s}_{0i} + \dot{s}_{\Delta i}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (30)$$

необходимые и достаточные условия существования скользящего режима на каждой из подвижных гиперплоскостей $S_i (s_i = c_i(t)x_{\varepsilon} = 0)$

$$\lim_{s_i \rightarrow +0} \dot{s}_i < 0, \quad \lim_{s_i \rightarrow -0} \dot{s}_i > 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (31)$$

где $C_i(t)$ - i -я строка матрицы $C(t)$; достаточные условия попадания фазовых траекторий на эти гиперплоскости S_i

$$\dot{s}_{\Delta i} s_i < 0, \quad i = \overline{1, m}. \quad (32)$$

Для выделения слагаемых \dot{s}_0 и \dot{s}_{Δ} запишем систему (17) в виде

$$\dot{x}_{\varepsilon} = (f_0 + \Delta f) + B_0^M (E + \Lambda_2 + \Lambda_6)u + (D_0 + \Delta D)(F_0 + \Delta F) + \Delta \dot{x}, \quad (33)$$

где $m \times m$ - матрица Λ_6 содержит неопределённые ограниченные элементы $\Lambda_{ij6} = \Lambda_{ij6}(x_{\varepsilon} - \Delta x, t)$, и разложим в ряды Тейлора относительно $x_{\varepsilon}(t)$ по степеням составляющих Δx_i вектора ошибок измерений Δx вектор $f_0(x, t)$ и матрицы $B_0^M(x, t), D_0(x, t), x = x_{\varepsilon} - \Delta x$:

$$\begin{aligned} f_0 &= f_0(x_{\varepsilon}, t) + a_f(x_{\varepsilon}, t)\Delta x + R_1; B_0^M = B_0^M(x_{\varepsilon}, t) + a_B(x_{\varepsilon}, \Delta x, t) + R_2; \\ B_0^M (E + \Lambda_2) &= B_0^M(x_{\varepsilon}, t)(E + \Lambda_2(x_{\varepsilon}, t)) + a_{BE}(x_{\varepsilon}, \Delta x, t) + R_3; \\ D_0 &= D_0(x_{\varepsilon}, t) + a_D(x_{\varepsilon}, \Delta x, t) + R_4, \end{aligned} \quad (34)$$

где $n \times n, n \times m, n \times m$ и $n \times 1$ - матрицы a_f, a_B, a_{BE} и a_D

$$a_f = -\frac{\mathcal{F}_0(x,t)}{\partial x}, \quad a_B = (a_B^1 \Delta x, \dots, a_B^m \Delta x), \quad a_B^i = -\frac{\partial (B_0^M)^i}{\partial x},$$

$$a_{BE} = (a_{BE}^1 \Delta x, \dots, a_{BE}^m \Delta x), \quad a_{BE}^i = -\frac{\partial (B_0^M (E + \Lambda_2))^i}{\partial x},$$

$$a_D = (a_D^1 \Delta x, \dots, a_D^l \Delta x), \quad a_D^j = -\frac{\partial \mathcal{D}_0^j(x,t)}{\partial x},$$

определяются при $x = x_g(t)$; $(B_0^M)^i$; $(B_0^M (E + \Lambda_2))^i$ и D_0^i - столбцы матриц B_0^M , $(B_0^M (E + \Lambda_2))$ и D_0 , R_k - матрицы остаточных членов рядов, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, l}$, $k = \overline{1, 4}$. Полагая малыми составляющие Δx_i , $i = \overline{1, n}$, вектора ошибок измерений Δx и неопределённые возмущения Λ_{kr6} , $k, r = \overline{1, m}$, ΔD_{ij} , ΔF_j , $j = \overline{1, l}$, в матрицах $\Lambda_6, \Delta D$ и столбце ΔF и отбрасывая их произведения $\Delta x_i \Delta F_j$, $\Delta x_i \Lambda_{kr6}$, $\Delta D_{ij} \Delta F_j$ вместе с остаточными членами R_i получаем в силу системы (33) производные $\dot{s}_0, \dot{s}_\Delta$:

$$\dot{s}_0 = \dot{C}x_g + Cf_0(x_g, t) + CD_0(x_g, t)F_0 + CB_0^M(x_g, t)(E + \Lambda_2(x_g, t))u_0, \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \dot{s}_\Delta = & [Ca_f \Delta x]_0 + [C\Delta f]_1 + [CD_0 \Delta F]_2 + [Ca_D F_0]_3 + [(C\Delta D)F_0]_4 + \\ & + [Ca_{BE} u_0]_5 + [CB_0^M \Lambda_6 u_0]_6 + [C\Delta \dot{x}]_7 + [Ca_{BE} + CB_0^M \Lambda_6]_8 u_\Delta + \\ & + CB_0^M [E + \Lambda_2] u_\Delta. \end{aligned} \quad (36)$$

Согласно методике, изложенной в работе [10], для определения u_0 полагаем \dot{s}_0 равным сумме

$$\dot{s}_0 = \kappa_g g + \kappa_s s, \quad (37)$$

где $\kappa_g = \text{diag}\{\kappa_{g1}, \dots, \kappa_{gm}\}$, $\kappa_s = \text{diag}\{\kappa_{s1}, \dots, \kappa_{sm}\}$, $g = (g_1, \dots, g_m)^T$,

$g_j = d_j^T(t)x_g$ - вспомогательные функции переключения, $d_j^T = (d_{j1}, \dots, d_{jn})$;

κ_{gi} и κ_{si} - разрывные коэффициенты

$$\kappa_{gi} = \begin{cases} \kappa_{gi}^+(x_g, t) < 0 & \text{при } s_i g_i > 0, \\ \kappa_{gi}^-(x_g, t) > 0 & \text{при } s_i g_i \leq 0, \end{cases} \quad (38)$$

$$\kappa_{si} = \begin{cases} \kappa_{si}^+(x_g, t) < 0 & \text{при } s_i g_i > 0, \\ \kappa_{si}^-(x_g, t) < 0 & \text{при } s_i g_i \leq 0. \end{cases}$$

Так как в силу условий $|CB| \neq 0, |CB_0^M| \neq 0$ (19) выполняется и условие

$$|E + \Lambda_2(x_g, t)| \neq 0, \quad (39)$$

то с учётом выражений \dot{s}_0 (35), (37) получаем

$$u_0 = (u_{01}, \dots, u_{0m})^T = (CB_0^M(x_g, t)(E + \Lambda_2(x_g, t)))^{-1} \times \\ \times [\kappa_g g + \kappa_s s - (Cf_0(x_g, t) + \dot{C}x_g + CD_0(x_g, t)F_0)], \quad (40)$$

где K_{gi}, K_{si} удовлетворяют неравенствам (38).

Построение управления $u_\Delta = (u_{\Delta 1}, \dots, u_{\Delta m})^T$ может осуществляться с различной степенью детализации и, соответственно, сложности аппаратной реализации и выполнения ограничений на управление u .

По числу слагаемых $[\cdot]_0, [\cdot]_1, \dots, [\cdot]_8$, выделенных в выражении \dot{s}_Δ (36) и подлежащих компенсации (подавлению), структуру u_Δ можно задать в виде

$$u_\Delta = (CB_0^M(E + \Lambda_2))^{-1} \sum_{j=0}^8 u_\Delta^j, \quad u_\Delta^j = (u_{\Delta 1}^j, \dots, u_{\Delta m}^j)^T. \quad (41)$$

Тогда вводя обозначение

$$[\cdot]_8 [CB_0^M(E + \Lambda_2)]^{-1} = N(\Delta x, \Lambda_6), \quad (42)$$

где N - $m \times n$ - матрица, получаем, что составляющие u_Δ^j управления u_Δ (41) входят в производную \dot{s}_Δ (36) в виде суммы:

$$(E + N(\Delta x, \Lambda_6)) \sum_{j=0}^8 u_\Delta^j. \quad (43)$$

Раскрывая в производной \dot{s}_Δ (36) матрицы $[\cdot]_j, j = \overline{0,8}$, по i -м строкам и распределяя составляющие u_Δ^j в управлениях u_Δ^j по соответствующим возмущениям, получаем выражение для $\dot{s}_{\Delta i}$:

$$\begin{aligned} \dot{s}_{\Delta i} = & \left\{ \sum_{r=1}^n c_i a_f^r \Delta x_r + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^0 \right\}_0 + \left\{ \sum_{r=1}^n c_{ir} \Delta f_r + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^1 \right\}_1 + \\ & + \left\{ \sum_{r=1}^n c_i D_0^r \Delta F_r + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^2 \right\}_2 + \left\{ \sum_{r=1}^n p_{ir}(t) \Delta x_r + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^3 \right\}_3 + \\ & + \left\{ \sum_{j=1}^l c_i \Delta D^j F_{0j} + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^4 \right\}_4 + \left\{ \sum_{r=1}^n q_{ir}(t) \Delta x_r + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^5 \right\}_5 + \\ & + \left\{ \sum_{j=1}^{m^2} b_{ij}(t) \lambda_{j6} + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^6 \right\}_6 + \left\{ \sum_{r=1}^n c_{ir}(t) \Delta \dot{x}_r + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^7 \right\}_7 + \\ & + \left\{ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m N_{ij} (u_{\Delta j}^0 + u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^8) + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^8 \right\}, \end{aligned} \quad (44)$$

где c_i и c_{ir} - i -е строки и r -е их элементы матрицы C ; D_0^r - r - столбцы матрицы D_0 ; $p_{ir}(t)$ и $q_{ir}(t)$ - переменные коэффициенты при Δx_r в i -х строках

матриц $[\cdot]_3$ и $[\cdot]_5$; $b_{ij}(t)$ - коэффициенты при составляющих $\lambda_{j6}, j = \overline{1, m^2}$, матрицы Λ_6 , записанных, например, по строкам

$$(\lambda_{1,6}, \dots, \lambda_{m^2,6}) = (\Lambda_{11}, \dots, \Lambda_{1b}; \Lambda_{21}, \dots, \Lambda_{2m}; \dots; \Lambda_{m1}, \dots, \Lambda_{mn});$$

N_{ii} и $N_{ij}, j \neq i$, - элементы матрицы $N(\Delta x, \Lambda_6)$ (42).

Условия попадания $\dot{s}_{\Delta i} s_i < 0$ (32) начинают выполняться, например, при

$$u_{\Delta i}^0 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^0, \quad u_{\Delta ir}^0 = \kappa_{ir}^0 c_i a_f^r, \quad (45)$$

где

$$\begin{aligned} \text{sign}(1 + N_{ii}(\Delta x, \Lambda_6)) \kappa_{ir}^{0+} &< \inf_{\Delta x, \Lambda_6} (-\Delta x_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i c_i a_f^r > 0, \\ \text{sign}(1 + N_{ii}(\Delta x, \Lambda_6)) \kappa_{ir}^{0-} &> \sup_{\Delta x, \Lambda_6} (-\Delta x_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i c_i a_f^r \leq 0; \end{aligned}$$

$$u_{\Delta i}^1 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^1, \quad u_{\Delta ir}^1 = \kappa_{ir}^1 c_{ir}, \quad (46)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ir}^{1+} \begin{cases} < \inf_{\Delta x, \Lambda_6, \Delta f_r} (-\Delta f_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i c_{ir} > 0, \\ > \sup_{\Delta x, \Lambda_6, \Delta f_r} (-\Delta f_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i c_{ir} \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^2 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^2, \quad u_{\Delta ir}^2 = \kappa_{ir}^2 c_i D_0^r, \quad (47)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ir}^{2+} \begin{cases} < \inf_{\Delta x, \Lambda_6, \Delta F_r} (-\Delta F_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i c_i D_0^r > 0, \\ > \sup_{\Delta x, \Lambda_6, \Delta F_r} (-\Delta F_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i c_i D_0^r \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^3 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^3, \quad u_{\Delta ir}^3 = \kappa_{ir}^3 p_{ir}(t), \quad (48)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ir}^{3+} \begin{cases} < \inf_{\Delta x, \Lambda_6} (-\Delta x_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i p_{ir}(t) > 0, \\ > \sup_{\Delta x, \Lambda_6} (-\Delta x_r / |1 + N_{ii}|) \text{ при } s_i p_{ir}(t) \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^4 = \sum_{j=1}^l u_{\Delta ij}^4, \quad u_{\Delta ij}^4 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ijk}^4, \quad u_{\Delta ijk}^4 = \kappa_{ijk}^4 C_{ik} F_{0j}, \quad (49)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii})\kappa_{ijk}^{4\pm} \begin{cases} < \inf_{\Delta D_{kj}, \Delta x, \Lambda_6} (-\Delta D_{kj} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i c_{ik} F_{0j} > 0, \\ > \sup_{\Delta D_{kj}, \Delta x, \Lambda_6} (-\Delta D_{kj} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i c_{ik} F_{0j} \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^5 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^5, \quad u_{\Delta ir}^5 = \kappa_{ir}^5 q_{ir}(t), \quad (50)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii})\kappa_{ir}^{5\pm} \begin{cases} < \inf_{\Delta x, \Lambda_6} (-\Delta x_r / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i q_{ir}(t) > 0, \\ > \sup_{\Delta x, \Lambda_6} (-\Delta x_r / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i q_{ir}(t) \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^6 = \sum_{j=1}^{m^2} u_{\Delta ij}^6, \quad u_{\Delta ij}^6 = \kappa_{ij}^6 b_{ij}(t), \quad (51)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii})\kappa_{ir}^{6\pm} \begin{cases} < \inf_{\lambda_{j6}, \Delta x, \Lambda_6} (-\lambda_{j6} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i b_{ij} > 0, \\ > \sup_{\lambda_{j6}, \Delta x, \Lambda_6} (-\lambda_{j6} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i b_{ij} \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^7 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^7, \quad u_{\Delta ir}^7 = \kappa_{ir}^7 c_{ir}(t);$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii})\kappa_{ir}^{7\pm} \begin{cases} < \inf_{\Delta \dot{x}_r, \Delta x, \Lambda_6} (-\Delta \dot{x}_r / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i c_{ir}(t) > 0, \\ > \sup_{\Delta \dot{x}_r, \Delta x, \Lambda_6} (-\Delta \dot{x}_r / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i c_{ir}(t) \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^8 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m u_{\Delta ij}^8, \quad u_{\Delta ij}^8 = \kappa_{ij}^8 (u_{\Delta j}^0 + u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^8); \quad (52)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii})\kappa_{ij}^{8\pm} \begin{cases} < \inf_{\Delta x, \Lambda_6} (-N_{ij} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i (U_{\Delta j}^0 + \dots + U_{\Delta j}^8) > 0, \\ > \sup_{\Delta x, \Lambda_6} (-N_{ij} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i (U_{\Delta j}^0 + \dots + U_{\Delta j}^8) \leq 0. \end{cases}$$

Отметим, что для нахождения m управлений $u_{\Delta i}^8$ образуются системы по m линейных алгебраических уравнений

$$u_{\Delta i}^8 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m u_{\Delta ij}^8 = \kappa_{i1}^8 (u_{\Delta 1}^0 + u_{\Delta 1}^1 + \dots + u_{\Delta 1}^8) + \dots + \kappa_{i,i-1}^8 \times \\ \times (U_{\Delta,i-1}^0 + U_{\Delta,i-1}^1 + \dots + U_{\Delta,i-1}^8) + \kappa_{i,i+1}^8 (U_{\Delta,i+1}^0 + U_{\Delta,i+1}^1 + \dots + U_{\Delta,i+1}^8) + \dots + (53) \\ + \kappa_{i,m}^8 (U_{\Delta,m}^0 + U_{\Delta,m}^1 + \dots + U_{\Delta,m}^8), \quad i = \overline{1, m},$$

с $m(m-1)$ разрывными коэффициентами $\kappa_{i1}^{8+}, \dots, \kappa_{i,i-1}^{8+}, \kappa_{i,i+1}^{8+}, \dots, \kappa_{i,m}^{8+}, \quad i = \overline{1, m}$.

Для каждой из $2^{m(m-1)}$ комбинаций индексов «+», «-» этих коэффициентов образуется своя система (53). При цифровой реализации разрывного управления необходимо в реальном масштабе времени решать системы (53) до тех пор, пока для одной из комбинаций индексов «+», «-» в κ_{ij}^{8+} (52) не станут соответствовать знаки произведений $s_i (u_{\Delta j}^0 + u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^8)$ (52). Такой объём необходимых расчётов обусловлен тем, что матрица $N(\Delta x, \Lambda_6)$ (42) не диагональная. Более просто система (53) решается при аналоговой реализации: для любой текущей комбинации индексов «+», «-» в разрывных коэффициентах κ_{ij}^{8+} все управления $u_{\Delta i}^8$ находятся в реальном масштабе времени (и практически мгновенно).

Замечание 2. При $m=1$ составляющих N_{ij} в производной $\dot{s}_{\Delta i}$ (44) нет и, следовательно, $u_{\Delta}^8 = u_{\Delta 1}^8 = 0$.

Замечание 3. Для компенсации возможного неблагоприятного влияния на процесс приведения в скользящий режим отброшенных в производной \dot{s}_{Δ} (36) произведений малых неопределённостей и остаточных членов R_i при малых по модулю значениях разрывных коэффициентов κ в u_0 и u_{Δ} предлагается в разрывное управление u ввести релейную добавку

$$u = u_0 + u_p + u_{\Delta}, \quad (54)$$

которая может быть найдена, например, из условия

$$\dot{s}_0 = \kappa_g g + \kappa_s s + \delta \operatorname{sign} s, \quad (55)$$

где

$$\delta = \operatorname{diag}\{\delta_1, \dots, \delta_m\}, \quad \delta_i < 0, \quad \operatorname{sign} s = (\operatorname{sign} s_1, \dots, \operatorname{sign} s_m)^T, \quad i = \overline{1, m},$$

и выполняются неравенства

$$(\delta_i \operatorname{sign} s_i) s_i < 0 \quad \text{при} \quad s_i \neq 0, \quad i = \overline{1, m},$$

аналогичные «условиям попадания» (32). Тогда в силу производной \dot{s}_0 (35) с учётом u (54)

$$\dot{s}_0 = \dot{C}x_g + Cf_0(x_g, t) + CD_0(x_g, t)F_0 + CB_0^M(x_g, t)(E + \Lambda_2(x_g, t))(u_0 + u_p)$$

и согласно условию (55) получаем, что

$$u_p = (u_{p1}, \dots, u_{pm})^T = (CB_0^M(x_g, t)(E + \Lambda_2(x_g, t)))^{-1} \delta \operatorname{sign} s. \quad (56)$$

В выражениях скобок $[\cdot]_5$, $[\cdot]_6$ и коэффициентов $q_{ir}(t)$ и $b_{ij}(t)$ управлений $u_{\Delta i}^5$ (50) и $u_{\Delta i}^6$ (51), зависящих от u_0 , необходимо в этом случае подставить не u_0 , а сумму $u_0 + u_p$, где u_0 и u_p определяется по формулам (40) и (56).

Решение задачи 2.

5. Формирование подвижного многообразия скольжения.

Уравнения скользящего режима в системе (12) на многообразии S (16) согласно методике раздела 2 предварительно находятся в координатах $x_g, \eta, \Delta x$, а уж затем в $x, \eta, \Delta x$. Предполагается, что выполняется условие существования скользящего режима и разрывного управления, решающего задачу 2:

$$\left| (C^1(t, M + C^3(t)(M - E))B_0^M(x, t)) \right| \neq 0 \forall x \in \Omega_x, \quad t \in I. \quad (57)$$

Учитывая соотношения (19) и то, что

$$B[(C^1M + C^3(M - E))B]^{-1} = B_0^M(E + \Lambda_2 + \Lambda_6)[C^1M + C^3(M - E)] \times \\ \times B_0^M(E + \Lambda_2 + \Lambda_6)^{-1} = B_0^M[(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}, \quad (58)$$

уравнения скользящего режима получаем в виде

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \{\cdot\}_1, \\ \dot{\eta} &= G\eta + H(x + X_{np}), \\ \Delta \dot{x} &= L[G\eta + H(x + X_{np})] + (M - E)\dot{X}_{np} + (M - E)\{\cdot\}_1, \end{aligned} \quad (59)$$

где

$$\begin{aligned} \{\cdot\}_1 &= \{E - B_0^M[(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}(C^1M + C^3(M - E))\}(f_0^M + \\ &+ f_0^2 + \Delta f^2 + \Delta D^2F) - B_0^M[(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}\{\dot{C}^1(x + \Delta x) + C^1 \times \\ &\times [L(G\eta + Hx + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np}] + \dot{C}^2\eta + C^2[G\eta + Hx + HX_{np}] + \\ &+ \dot{C}^3\Delta x + C^3[L(G\eta + Hx + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np}]\} \end{aligned}$$

и

$$s = C^1(t)(x + \Delta x) + C^2(t)\eta + C^3(t)\Delta x = 0,$$

или

$$y_g = (x_g^T, \eta^T, \Delta x^T)^T \in S(16). \quad (60)$$

Так как в системе (12) выполняются условия инвариантности (5), то система (59) от неопределённых возмущений $\Delta f^1, \Delta B^1, \Delta D^1$ и отличий f_0^1, D_0^1F системы (12) от модели (14) не зависит.

Для тождественного воспроизведения в скользящем режиме (59) при $f_0^2 \equiv (0, \dots, 0)^T, \Delta f^2 \equiv (0, \dots, 0)^T, \Delta D^2 \equiv 0 - n \times l$ модельного движения системы (14) получаем, согласно схеме доказательства, приведённой в разделе 3, следующие достаточные условия:

$$x_M(t_0) = x(t_0), \quad \eta_M(t_0) = \eta(t_0), \quad \Delta x_M(t_0) = \Delta x(t_0) \quad (61)$$

и

$$\dot{C} = -CA(x_M, \eta_M, X_{np}, \dot{X}_{np}, u_M, F_0, t), \quad (62)$$

где $C = (C^1, C^2, C^3)$ - $m \times q$, а $q \times q$ - матрица A является сомножителем в произведении

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_q \end{pmatrix} = Ay_{M\epsilon}, \quad (63)$$

где

$$y_{M\epsilon} = (\lambda_{M\epsilon}^T, \eta_M^T, \Delta x_M^T)^T - q \times 1, \quad q = 2n + r, \quad R - q \times 1, \quad R_1 - n \times 1, \quad R_2 - r \times 1,$$

$$R_3 - n \times 1, \quad x_{M\epsilon} = x_M + \Delta x_M, \quad R_1 = Mf_0^M + L(G\eta_M + Hx_M + HX_{np}) + \\ + (M - E)\dot{X}_{np} + MB_0^M(u_M + \Lambda_3 F_0), \quad R_2 = G\eta_M + Hx_M + HX_{np},$$

$$R_3 = L(G\eta_M + Hx_M + HX_{np}) + (M - E)[\dot{X}_{np} + f_0^M + B_0^M(u_M + \Lambda_3 F_0)];$$

начальные условия $C(t_0)$ в системе (62) удовлетворяют условию прохождения многообразия $S(16)$ в момент $t = t_0$ через начальное состояние системы (12)

$$y(t_0) = (x^T(t_0), \eta^T(t_0), \Delta x^T(t_0))^T :$$

$$y_\epsilon(t_0) \in S(16), \quad \text{или} \quad s(t_0) = C_1(t_0)(x(t_0) + \Delta x(t_0)) + C_2(t_0)\eta(t_0) + \\ + C_3(t_0)\Delta x(t_0) = 0, \quad (64)$$

чем обеспечивается тождественное воспроизведение с начального момента времени $t = t_0$.

При задании $(q^2 - q)$ элементов матрицы A нулевыми, например,

$$A = (A_{qx1}^1, 0_{qx1}, \dots, 0_{qx1}), \quad A^j = 0_{qx1}, \quad j = \overline{2, q}, \quad (65)$$

и столбца A^1 равными согласно произведению (63)

$$A^1 = (r_1 / x_{M\epsilon 1}, \dots, r_q / x_{M\epsilon 1})^T, \quad x_{M\epsilon 1} = x_{M1} + \Delta x_{M1}, \quad (66)$$

порядок системы (62) понижается в m раз - от qm до q :

$$\dot{C}^{11} = -CA^1, \quad (67)$$

где C^{11} первый столбец в матрице $C^1 = (C^{11}, \dots, C^{1n})$, а столбцы C^{12}, \dots, C^{1n} и матрицы C^2, C^3 являются постоянными

$$C^{1j} = C^{1j}(t_0), \quad j = \overline{2, n}; \quad C^2 = C^2(t_0), \quad C^3 = C^3(t_0)$$

и вместе со столбцом $C^{11}(t)$ должны удовлетворять условию (64).

Замечание 4. В частном случае $S(16)$, при

$$S(s = C^1(t)x_\epsilon = 0),$$

система (62) преобразуется к системе

$$\dot{C}^1 = -C^1 A(x_M, \eta_M, X_{np}, \dot{X}_{np}, u_M, F_0, t),$$

где $n \times n$ - матрица A является сомножителем в произведении

$$R_1 = (r_1, \dots, r_n)^T = A x_{M\beta},$$

где

$$R_1 = Mf_0^M + L(G\eta + Hx + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np} + MB_0^M(U_M + \Lambda_3 F_0).$$

При $A = (A^1, \dots, A^n)$, $A^j = 0$, $j = \overline{2, n}$, и $A^1 = (r_1 / x_{M\beta 1}, \dots, r_m / x_{M\beta 1})^T$ получаем систему

$$\dot{C}^{11} = -C^1 A^1,$$

где C^{11} - первый столбец в матрице $C^1 = (C^{11}, \dots, C^{1n})$, а столбцы C^{12}, \dots, C^{1n} являются постоянными

$$C^{1j} = C^{1j}(t_0), \quad j = \overline{2, n}.$$

Условие (64) преобразуется к виду

$$x(t_0) \in S(s = C^1(t_0)x_\beta(t_0) = 0) : C^1(t_0)(x(t_0) + \Delta x(t_0)) = 0.$$

Векторы $x(t_0)$, $\eta(t_0)$, $\Delta x(t_0)$ в условии (61) вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} x(t_0) &= X(t_0) - X_{np}(t_0); \\ \eta(t_0) &= \eta(X_\partial(t_0), \dots, X_\partial^{(N_m-1)}(t_0); X(t_0), \dots, X^{(N_m-2)}(t_0)); \\ \Delta x(t_0) &= X_\partial(t_0) - X(t_0), \end{aligned} \quad (68)$$

где $N_m = \max_i \{N_i\}$, $i = \overline{1, n}$, а $X(t_0)$, $X_\partial(t_0)$ и производные от X_∂ и X для момента времени $t = t_0$ могут быть определены заблаговременно, в стационарных условиях.

При неточном выполнении условий (61), (64) требуются дополнительные исследования по качеству воспроизведения.

6. Многошаговый скользящий режим.

Применяется, как и в разделе 3, для воспроизведения желаемого модельного движения с заданной точностью в том случае, когда отличия от модели f_0^2 и неопределённости $\Delta f^2, \Delta D^2 F$, которые не удовлетворяют условиям инвариантности (5), не равны тождественно нулевым столбцам. Для того, чтобы показать такую возможность при достаточно малых шагах $I_i = (t_i, t_{i+1}]$ разбиения исходного промежутка I модельное движение системы (14) представим как скользящий режим на многообразии

$$\begin{aligned} S(s = C(t)u_{M\beta} = 0), C = (C^1, C^2, C^3), u_{M\beta} = (x_{M\beta}^T, \eta_M^T, \Delta x_M^T)^T : \\ \dot{x}_M = \{\cdot\}_{M1}, \\ \dot{\eta}_M = G\eta_M + H(x_M + X_{np}), \\ \Delta \dot{x}_M = L[G\eta_M + H(x_M + X_{np})] + (M - E)\dot{X}_{np} + (M - E)\{\cdot\}_{M1}, \end{aligned} \quad (69)$$

где

$$\begin{aligned} \{\cdot\}_{M1} = & \{E - B_0^M [(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}(C^1M + C^3(M - E))\}f_0^M - \\ & - B_0^M [(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}\{\dot{C}^1(x_M + \Delta x_M) + C^1[L(G\eta_M + Hx_M + \\ & + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np}] + \dot{C}^2\eta_M + C^2[G\eta_M + Hx_M + HX_{np}] + \dot{C}^3\Delta x + \\ & + C^3[L(G\eta_M + Hx_M + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np}]\}, y_{M\varepsilon} \in S; \quad t \in I_i = (t_i, t_{i+1}], \\ & i = \overline{0, k-1}; \quad x_{M\varepsilon} = x_M + \Delta x_M = X_{\partial M} - X_{np}. \end{aligned}$$

Многообразие скольжения S (16) для системы (12) строится в начале $t = t_i$ каждого шага I_i заново по системе уравнений (62) или (67) при начальных условиях

$$C(t_i)y_\varepsilon(t_i) = 0, \quad y_\varepsilon(t_i) = y(t_i) + \Delta y(t_i), \quad i = \overline{0, k-1}. \quad (70)$$

Равенство начальных условий в модельной (14), (69) и реальной (12), (59) системах также должно выполняться для каждого момента времени $t = t_i$:

$$x_M(t_i) = x(t_i); \quad \eta_M(t_i) = \eta(t_i); \quad \Delta x_M(t_i) = \Delta x(t_i). \quad (71)$$

Данные условия означают, что помимо вычислений (68) для момента $t = t_0$ понадобятся вычисления и для $t = t_i, \quad i = \overline{1, k-1}$:

$$\begin{aligned} x(t_i) = & X(t_i) - X_{np}(t_i), \quad \eta(t_i) = \eta(X_\partial(t_i), \dots, X_\partial^{(N_m-1)}(t_i)); \\ & X(t_i), \dots, X^{(N_m-1)}(t_i)), \quad \Delta x(t_i) = X_g(t_i) - X(t_i), \quad i = \overline{0, k-1}. \end{aligned} \quad (72)$$

Схема доказательства возможности обеспечения заданной точности ε воспроизведения модельного движения совпадает с изложенной в разделе 3: вводятся обозначения $x = x_M + z^1, \quad \eta = \eta_M + z^2, \quad \Delta x = \Delta x_M + z^3$, где столбцы z^j - отклонения от модельного движения; вводится обозначение

$$\begin{aligned} \varphi(x, t) = & \{E - B_0^M [(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}(C^1M + \\ & + C^3(M - E))\}f_0^M - B_0^M [(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}\{\dot{C}^1(x + \Delta x) + \\ & + C^1[L(G\eta + Hx + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np}] + \dot{C}^2\eta + \\ & + C^2[G\eta + Hx + HX_{np}] + \dot{C}^3\Delta x + C^3[L(G\eta + Hx + HX_{np}) + \\ & + (M - E)\dot{X}_{np}]\} \end{aligned}$$

и вычитается модельная система (69) из системы скользящего режима (59) получаем систему (73):

$$\begin{aligned} \dot{z}^1 = & \{(\varphi(x_M + z^1, t) - \varphi(x_M, t)) + \{E - B_0^M [(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1} \times \\ & \times (C^1M + C^3(M - E))\}(f_0^2(x_M + z^1, t) + \Delta f^2(x_M + z^1, t) + \\ & + \Delta D^2(x_M + z^1, t)F)\}, \\ \dot{z}^2 = & Gz^2 + Hz^1, \\ \dot{z}^3 = & L[Gz^2 + Hz^1] + [M - E]\{(\varphi(x_M + z^1, t) - \varphi(x_M, t)) + \\ & + \{E - B_0^M [(C^1M + C^3(M - E))B_0^M]^{-1}(C^1M + C^3(M - E))\} \times \\ & \times (f_0^2(x_M + z^1, t) + \Delta f^2(x_M + z^1, t) + \Delta D^2(x_M + z^1, t)F)\}; \end{aligned}$$

рассматривается интегральная форма системы (73); учитывается $z^j(t_i) = 0$, $j = \overline{1,3}$; применяется лемма Гронуолла-Беллмана в предположении о малости шагов I_i и норм $\|C^j(t_i)\|$, $j = \overline{1,3}$.

7. Методы построения разрывного управления.

Методы отличаются в зависимости от того, выполняются или нет условия

$$\Delta f^2 \equiv 0, \Delta D^2 \equiv 0, f_0^2 \equiv 0. \quad (74)$$

В первом случае, при выполнении тождеств (74), возможно тождественное воспроизведение модельного движения системы (14)

$$x(t) \equiv x_M(t), \quad \eta(t) \equiv \eta_M(t), \quad \Delta x(t) \equiv \Delta x_M(t) \quad (75)$$

с начального момента $t = t_0$. Следовательно, если условия (75) выполняются при $t = t_0$, необходимые для построения управления u векторы состояния $x_\varepsilon(t)$, $x(t)$, $\eta(t)$, $\Delta x(t)$, где $x_\varepsilon = x + \Delta x$, могут быть найдены по модельной системе (14). Если же использовать ещё и вектор x_ε , формируемый по показаниям датчиков ($x_\varepsilon = x + \Delta x = X_\partial - X_{np}$), то можно интегрировать только первые два уравнения модели (14) для нахождения x_M и η_M . Вектор Δx при этом находится как разность $\Delta x = \Delta x_M = x_\varepsilon - x_M$. Следовательно, за многообразие скольжения может быть принято многообразие S общего вида (16).

Во втором случае, если хотя бы одно из тождеств (74) не выполняется, тождественное воспроизведение невозможно. При воспроизведении же с заданной точностью с помощью многошагового скользящего режима, как показано в разделе 6, векторы состояния x , η , Δx с модельными $x_M, \eta_M, \Delta x_M$ не совпадают. Поэтому единственной доступной информацией о состоянии системы является вектор $x_\varepsilon = X_\partial - X_{np}$. Следовательно, за многообразие скольжения S может быть принято только многообразие (15).

Рассмотрим подробней методы построения разрывного управления в этих двух случаях.

Первый случай. Рассматривается система (12) в координатах $x_\varepsilon = x + \Delta x$, η , Δx :

$$\begin{aligned} \dot{x}_\varepsilon &= M(f(x_\varepsilon - \Delta x, t) + BU + DF) + L(G\eta + Hx + HX_{np}) + \\ &+ (M - E)\dot{X}_{np}; \\ \dot{\eta} &= G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np}); \\ \Delta \dot{x} &= L(G\eta + Hx + HX_{np}) + (M - E)\dot{X}_{np} + (M - E)(f + BU + DF). \end{aligned} \quad (76)$$

Применяются основные положения (формулы (29)-(32)) методика раздела 4:

$$\begin{aligned} S(s = C^1(t)x_\varepsilon(t) + C^2(t)\eta(t) + C^3(t)\Delta x(t) = 0); \\ u = u_0 + u_\Delta; \quad \dot{s} = \dot{s}_0 + \dot{s}_\Delta; \end{aligned} \quad (77)$$

$$\begin{aligned} \dot{s}_0 = & \dot{C}^1 x_\varepsilon + C^1 [M(f_0 + D_0 F_0) + L(G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np})) + \\ & + (M - E)\dot{X}_{np}] + \dot{C}^2 \eta + C^2 [G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np})] + \dot{C}^3 \Delta x + \\ & + C^3 [L(G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np})) + (M - E)\dot{X}_{np} + (M - E) \times \\ & \times (f_0 + D_0 F_0)] + \{ [C^1 M + C^3 (M - E)] B_0^M \} (E + \Lambda_2) u_0 = \kappa_g g + \kappa_s s, \end{aligned} \quad (78)$$

где, например, $g = (g_1, \dots, g_m)^T$, $g_i = d_j^T(t) x_\varepsilon$, $d^T = (d_{j1}, \dots, d_{jn})$;

$$\begin{aligned} \dot{s}_\Delta = & [C^1 M + C^3 (M - E)] \{ \Delta f + D_0 \Delta F + \Delta D F_0 + \Delta D \Delta F + \\ & + B_0^M [\Lambda_6 U_0 + (E + \Lambda_2 + \Lambda_6) u_\Delta] \}, \end{aligned} \quad (79)$$

где в Δf , ΔD , и f_0 полагается: $\Delta f^2 \equiv 0$, $\Delta D^2 \equiv 0$ и $f_0^2 \equiv 0$.

В силу равенства (78) получаем u_0 :

$$\begin{aligned} u_0 = & \{ [\cdot] B_0^M (E + \Lambda_2) \}^{-1} \{ \kappa_g g + \kappa_s s - \{ \dot{C}^1 x_\varepsilon + C^1 [M(f_0 + D_0 F_0) + \\ & + L(G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np})) + (M - E)\dot{X}_{np}] + \dot{C}^2 \eta + C^2 \times \\ & \times [G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np})] + \dot{C}^3 \Delta x + C^3 [L(G\eta + H(x_\varepsilon - \Delta x + X_{np})) + \\ & + (M - E)\dot{X}_{np} + (M - E)(f_0 + D_0 F_0)] \} \}, \end{aligned} \quad (80)$$

где $[\cdot] = [C^1 M + C^3 (M - E)]$ и предполагается выполненным условие (39) для $x = x_\varepsilon - \Delta x \in \Omega_x$:

$$|E + \Lambda_2(x_\varepsilon - \Delta x, t)| \neq 0 \forall x = x_\varepsilon - \Delta x \in \Omega_x, t \in I. \quad (81)$$

Управление u_Δ сформируем со структурой

$$u_\Delta = \{ [\cdot] B_0^M (E + \Lambda_2) \}^{-1} \sum_{j=1}^6 u_\Delta^j, \quad u_\Delta^j = (u_{\Delta 1}^j, \dots, u_{\Delta m}^j)^T. \quad (82)$$

Тогда производная \dot{s}_Δ (79) может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \dot{s}_\Delta = & \{ [\cdot] \Delta f + u_\Delta^1 \} + \{ [\cdot] D_0 \Delta F + u_\Delta^2 \} + \{ [\cdot] \Delta D F_0 + u_\Delta^3 \} + \\ & + \{ [\cdot] \Delta D \Delta F + u_\Delta^4 \} + \{ [\cdot] B_0^M \Lambda_6 u_0 + u_\Delta^5 \} + \{ [\cdot] B_0^M \Lambda_6 u_\Delta + u_\Delta^6 \}, \end{aligned} \quad (83)$$

где $[\cdot] B_0^M \Lambda_6 u_\Delta = N(\Lambda_6) \sum_{J=1}^6 u_\Delta^J$, $N(\Lambda_6) = [\cdot] B_0^M \Lambda_6 \{ [\cdot] B_0^M (E + \Lambda_2) \}^{-1}$ -

$m \times m$ - матрица, или в более раскрытом виде

$$\begin{aligned} \dot{s}_\Delta = & \{ [\cdot] \Delta f + (E + N) u_\Delta^1 \} + \{ [\cdot] D_0 \Delta F + (E + N) u_\Delta^2 \} + \{ [\cdot] \Delta D F_0 + \\ & + (E + N) u_\Delta^3 \} + \{ [\cdot] \Delta D \Delta F + (E + N) u_\Delta^4 \} + \{ [\cdot] B_0^M \Lambda_6 u_0 + \\ & + (E + N) u_\Delta^5 \} + (E + N) u_\Delta^6, \end{aligned} \quad (84)$$

$$\begin{aligned} \dot{s}_{\Delta i} = & \{ [\cdot]_i \Delta f + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^1 \} + \{ [\cdot]_i D_0 \Delta F + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^2 \} + \\ & + \{ [\cdot]_i \Delta D F_0 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^3 \} + \{ [\cdot]_i \Delta D \Delta F + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^4 \} + \\ & + \{ [\cdot]_i B_0^M \Lambda_6 u_0 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^5 \} + \left\{ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m N_{ij} (u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^6) + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^6 \right\}, \end{aligned} \quad (85)$$

где $i = \overline{1, m}$. Согласно выражениям $\dot{s}_{\Delta i}$ (85) получаем, что условия попадания (32) выполняются, например, при

$$u_{\Delta i}^1 = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^1, \quad u_{\Delta ir}^1 = \kappa_{ir}^1 [\cdot]_{ir}, \quad (86)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ir}^{1+} \begin{cases} < \inf_{\Lambda_6, \Delta f_r} (-\Delta f_r / |1 + N_{ii}|) & \text{npu } s_i [\cdot]_{ir} > 0, \\ > \sup_{\Lambda_6, \Delta f_r} (-\Delta f_r / |1 + N_{ii}|) & \text{npu } s_i [\cdot]_{ir} \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^j = \sum_{r=1}^n u_{\Delta ir}^j, \quad u_{\Delta ir}^j = \kappa_{ir}^j [\cdot]_{ir}, \quad j = 2, 3, 4, \quad (87)$$

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ir}^{j+} \begin{cases} \inf_{\Lambda_6, \Delta \varphi_r^j} (-\Delta \varphi_r^j / |1 + N_{ii}|) & \text{npu } s_i [\cdot]_{ir} > 0, \\ \sup_{\Lambda_6, \Delta \varphi_r^j} (-\Delta \varphi_r^j / |1 + N_{ii}|) & \text{npu } s_i [\cdot]_{ir} \leq 0, \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \Delta \varphi_r^2 &= (\Delta \varphi_1^2, \dots, \Delta \varphi_n^2)^T = D_0 \Delta F, \quad \Delta \varphi_r^3 = (\Delta \varphi_1^3, \dots, \Delta \varphi_n^3)^T = \Delta D F_0, \\ \Delta \varphi_r^4 &= (\Delta \varphi_1^4, \dots, \Delta \varphi_n^4)^T = \Delta D \Delta F; \end{aligned}$$

$$u_{\Delta i}^5 = \sum_{r=1}^m u_{\Delta ir}^5, \quad u_{\Delta ir}^5 = \sum_{k=1}^m u_{\Delta irk}^5, \quad u_{\Delta irk}^5 = \kappa_{irk}^5 [\cdot]_i B_0^{M,r} u_{0k}, \quad (88)$$

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{irk}^{5+} \begin{cases} < \inf_{\Lambda_6} (-\Lambda_{rk} / |1 + N_{ii}|) & \text{npu } s_i [\cdot]_i B_0^{M,r} u_{0k} > 0, \\ > \sup_{\Lambda_6} (-\Lambda_{rk} / |1 + N_{ii}|) & \text{npu } s_i [\cdot]_i B_0^{M,r} u_{0k} \leq 0, \end{cases}$$

где учтено, что

$$\Lambda_6 u_0 = \left(\sum_{j=1}^m \Lambda_{1j} u_{0j}, \dots, \sum_{j=1}^m \Lambda_{mj} u_{0j} \right)^T,$$

$$[\cdot]_i B_0^M \Lambda_6 u_0 = [\cdot]_I B_0^{M,1} \sum_{j=1}^m \Lambda_{1j} u_{0j} + \dots + [\cdot]_I B_0^{M,m} \sum_{j=1}^m \Lambda_{mj} u_{0j},$$

Λ_{rj} и $B_0^{M,r}$ - элементы матрицы Λ_6 и столбцы матрицы B_0^M ;

$$u_{\Delta i}^6 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m u_{\Delta ij}^6; \quad u_{\Delta ij}^6 = \kappa_{ij}^6 (u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^6), \quad j \neq i, \quad (89)$$

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ij}^{6\pm} \begin{cases} \inf_{\Lambda_6} (-N_{ij} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i(u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^6) > 0, \\ \sup_{\Lambda_6} (-N_{ij} / |1 + N_{ii}|) & \text{при } s_i(u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^6) \leq 0. \end{cases}$$

Замечание 5. Релейной составляющей u_p в управлении u здесь не требуется, так как малые составляющие произведения $\Delta D \Delta F$ не отбрасывались, а разложения в ряд Тейлора не применялись.

Рассмотрим второй случай. Так как измеряется только вектор x_g , то многообразие S задается в виде (15)

$$S(s = C^1(t)x_g = 0). \quad (90)$$

Для того, чтобы не использовать координаты x, η и Δx в дальнейшем построении управления u . Приводящего систему (76) в скольжение на S (90), представим их как суммы

$$x = x_M + z^1, \quad \eta = \eta_M + z^2, \quad \Delta x = \Delta x_M + z^3, \quad (91)$$

где $x_M, \eta_M, \Delta x_M$ - векторы, определяемые по модели, а z^1, z^2, z^3 - векторы малых отклонений:

$$z^1 = (z_1^1, \dots, z_n^1)^T, \quad z^2 = (z_1^2, \dots, z_n^2)^T, \quad z^3 = (z_1^3, \dots, z_n^3)^T.$$

Все функции, зависящие в производной \dot{s} от x, η и Δx , раскладываем в ряды Тейлора по степеням отклонений:

$$\begin{aligned} f_0(x, t) &= f_0(x_M, t) + a_f z^1 + R_1, \\ D_0(x, t) &= D_0(x_M, t) + a_D(x_M, z^1, t) + R_2, \\ G\eta &= G\eta_M + Gz^2, \\ B_0^M(x, t) &= B_0^M(x_M, t) + a_B(x_M, z^1, t) + R_3, \\ \Lambda_2(x, t) &= \Lambda_2(x_M, t) + a_\Lambda(x_M, z^1, t) + R_4, \end{aligned} \quad (92)$$

где

$$\begin{aligned} a_f &= \frac{\partial f_0}{\partial x} \Big|_{x_M}; \quad a_D = (a_D^1 z^1, \dots, a_D^l z^1), \quad a_D^j = \frac{\partial D_0^j}{\partial x} \Big|_{x_M}, \quad j = \overline{1, l}; \\ a_B &= (a_B^1 z^1, \dots, a_B^M z^1), \quad a_B^i = \frac{\partial B_0^{M, i}}{\partial x} \Big|_{x_M}; \quad a_\Lambda = (a_\Lambda^1 z^1, \dots, a_\Lambda^m z^1), \\ a_\Lambda^i &= \frac{\partial \Lambda_2^i}{\partial x} \Big|_{x_M}, \quad i = \overline{1, m}; \end{aligned}$$

R_j - остаточные члены рядов, $j = \overline{1,4}$. Управление u и производная \dot{s} , как и в первом случае, находятся в виде сумм (77). Тогда после отбрасывания малых R_j и произведений $a_B a_\Lambda, a_B \Lambda_6$ в выражении для $B(x, t)$

$$B(x, t) = B_0^M [E + \Lambda_2 + \Lambda_6] = B_0^M (x_M, t) + a_B [E + \Lambda_2(x_M, t) + a_\Lambda + \Lambda_6], \quad (93)$$

а также малых произведений $a_D \Delta F, \Delta D \Delta F$, получаем следующие выражения для \dot{s}_0 и \dot{s}_Δ :

$$\dot{s}_0 = \dot{C}^1 x_\varepsilon + C^1 [M(f_0(x_M, t) + D_0(x_M, t)F_0) + L(G\eta + H(x_M + X_{np})) + (M - E)\dot{X}_{np}] + C^1 M B_0^M (x_M, t)(E + \Lambda_2(x_M, t))u_0 = \kappa_g g + \kappa_s s, \quad (94)$$

и

$$\begin{aligned} \dot{s}_\Delta = & C^1 M \Delta f + C^1 M a_D F_0 + C^1 M \Delta D F_0 + C^1 L G z^2 + C^1 L H z^1 + \\ & + C^1 M B_0^M a_\Lambda u_0 + C^1 M B_0^M \Lambda_6 u_0 + C^1 M a_B (E + \Lambda_2(x_M, t))u_0 + \\ & + \{C^1 M [B_0^M (a_\Lambda + \Lambda_6) + a_B (E + \Lambda_2)] + C^1 M B_0^M (E + \Lambda_2)\} u_\Delta. \end{aligned} \quad (95)$$

Из соотношения (94) следует, что

$$u_0 = [C^1 M B_0^M (E + \Lambda_2)]^{-1} \{ \kappa_g g + \kappa_s s - C^1 [M(f_0 + D_0 F_0) + L(G\eta_M + H(x_M + X_{np})) + (M - E)\dot{X}_{np}] \}, \quad (96)$$

где $g = (g_1, \dots, g_m)^T$, $g_j = d_j^T(t)x_\varepsilon$, $d_j^T = (d_{j1}, \dots, d_{jn})$.

Для управления u_Δ задаёмся структурой

$$u_\Delta = [C^1 M B_0^M (E + \Lambda^2)]^{-1} \sum_{j=1}^9 u_\Delta^j, \quad u_\Delta^j = (u_{\Delta 1}^j, \dots, u_{\Delta m}^j)^T. \quad (97)$$

Введём обозначение $N(\Lambda_6, z^1)$ для $m \times m$ - матрицы:

$$N(\Lambda_6, z^1) = C^1 M [B_0^M (a_\Lambda + a_6) + a_B (E + \Lambda_2(x_M, t))] \times [C^1 M B_0^M (E + \Lambda_2)]^{-1}. \quad (98)$$

Тогда производная \dot{s}_Δ (95) может быть записана в виде

$$\begin{aligned} \dot{s}_\Delta = & \{C^1 M \Delta f + (E + N)u_\Delta^1\} + \{C^1 M a_D F_0 + (E + N)u_\Delta^2\} + \\ & + \{C^1 M L D F_0 + (E + N)u_\Delta^3\} + \{C^1 L G z^2 + (E + N)u_\Delta^4\} + \\ & + \{C^1 L H z^1 + (E + N)u_\Delta^5\} + \{C^1 M B_0^M a_\Lambda u_0 + (E + N)u_\Delta^6\} + \\ & + \{C^1 M B_0^M \Lambda_6 u_0 + (E + N)u_\Delta^7\} + \{C^1 M a_B (E + \Lambda_2(x_M, t))u_0 + \\ & + (E + N)u_\Delta^8\} + \{(E + N)u_\Delta^9\}, \end{aligned} \quad (99)$$

а её i - я составляющая $\dot{s}_{\Delta i}$ в виде

$$\begin{aligned}
 \dot{s}_{\Delta i} = & \left\{ \sum_{k=1}^n C_i^1 M^k \Delta f_k + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^1 \right\} + \left\{ \sum_{k=1}^n P_{ik}(t) z_k^1 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^2 \right\} + \\
 & + \left\{ \sum_{k=1}^n C_i^1 M^k \left(\sum_{j=1}^l \Delta D_{kj} F_{0j} \right) + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^3 \right\} + \left\{ \sum_{k=1}^r C_i^1 \mu^k z_k^2 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^4 \right\} + \\
 & + \left\{ \sum_{k=1}^n C_i^1 q^k z_k^1 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^5 \right\} + \left\{ \sum_{k=1}^n h_{ik}(t) z_k^1 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^6 \right\} + \\
 & + \left\{ \sum_{j=1}^{m^2} d_{ij}(t) \lambda_{j6} + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^7 \right\} + \left\{ \sum_{k=1}^n q_{ik}(t) z_k^1 + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^8 \right\} + \\
 & + \left\{ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m N_{ij} (u_{\Delta i}^1 + \dots + u_{\Delta i}^9) + (1 + N_{ii}) u_{\Delta i}^9 \right\},
 \end{aligned} \tag{100}$$

где N_{ii} - диагональные элементы $m \times m$ - матрицы N (98); $\sum_{k=1}^n P_{ik}(t) z_k^1$ - i - я

строка $m \times 1$ - столбца $C^1 M a_D F_0$; $\sum_{k=1}^r C_i^1 \mu^k z_k^2$ - i - я строка $m \times 1$ - столбца

$C^1 L G z^2$, r - размерность вектора η ;

$\sum_{k=1}^n C_i^1 q^k z_k^1$ - i - я строка $m \times 1$ - столбца $C^1 L H z^1$;

$\sum_{k=1}^n h_{ik}(t) z_k^1$ - i - я строка $m \times 1$ - столбца $C^1 M B_0^M a_{\Lambda} u_0$;

$\sum_{i=1}^m d_{ij}(t) \lambda_{j6}$ - i - я строка $m \times 1$ - столбца $C^1 M B_0^M \Lambda_6 u_0$,

λ_{j6} - элементы матрицы Λ_6 , записанные, например, по строкам;

$\sum_{k=1}^n q_{ik}(t) z_k^1$ - i - я строка $m \times 1$ - столбца $C^1 M a_B (E + \Lambda_2(x_M, t)) u_0$.

Неравенства $\dot{s}_{\Delta i} s_i < 0$ (32) выполняются, например, если управления $u_{\Delta i}^1, \dots, u_{\Delta i}^9$, $j = \overline{1, m}$, задать в виде:

$$u_{\Delta i}^1 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ik}^1, \quad u_{\Delta ik}^1 = \kappa_{ik}^1 C_i^1 M^k, \tag{101}$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ik}^1 \left\{ \begin{array}{l} < \inf_{\Delta f_k, z^1, \Lambda_6} (-\Delta f_k / |1 + N_{ii}|) \quad \text{при} \quad s_i C_i^1 M^k > 0; \\ > \sup_{\Delta f_k, z^1, \Lambda_6} (-\Delta f_k / |1 + N_{ii}|) \quad \text{при} \quad s_i C_i^1 M^k \leq 0; \end{array} \right.$$

$$u_{\Delta i}^2 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ik}^2, \quad u_{\Delta ik}^2 = \kappa_{ik}^2 P_{ik}(t), \quad (102)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ik}^{2+} \left\{ \begin{array}{l} < \inf_{z^1, \Lambda_6} (-z_k^1 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i P_{ik}(t) > 0; \\ > \sup_{z^1, \Lambda_6} (-z_k^1 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i P_{ik}(t) \leq 0; \end{array} \right.$$

$$u_{\Delta i}^3 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ik}^3, \quad u_{\Delta ik}^3 = \sum_{j=1}^l u_{\Delta ikj}^3, \quad u_{\Delta ikj}^3 = \kappa_{ikj}^3 c_i^1 M^k F_{0j}(t), \quad (103)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ikj}^{3+} \left\{ \begin{array}{l} < \inf_{z^1, \Delta D_{kj}, \Lambda_6} (-\Delta D_{kj} / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i c_i^1 M^k F_{0j}(t) > 0; \\ > \sup_{z^1, \Delta D_{kj}, \Lambda_6} (-\Delta D_{kj} / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i c_i^1 M^k F_{0j}(t) \leq 0; \end{array} \right.$$

$$u_{\Delta i}^4 = \sum_{k=1}^r u_{\Delta ik}^4, \quad u_{\Delta ik}^4 = \kappa_{ik}^4 c_i^1 \mu^k, \quad (104)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ik}^{4+} \left\{ \begin{array}{l} < \inf_{z^1, z_k^2, \Lambda_6} (-z_k^2 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i c_i^1 \mu^k > 0; \\ > \sup_{z^1, z_k^2, \Lambda_6} (-z_k^2 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i c_i^1 \mu^k \leq 0; \end{array} \right.$$

$$u_{\Delta i}^5 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ik}^5, \quad u_{\Delta ik}^5 = \kappa_{ik}^5 c_i^1 q^k, \quad (105)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ik}^{5+} \left\{ \begin{array}{l} < \inf_{z^1, \Lambda_6} (-z_k^1 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i c_i^1 q^k > 0; \\ > \sup_{z^1, \Lambda_6} (-z_k^1 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i c_i^1 q^k \leq 0; \end{array} \right.$$

$$u_{\Delta i}^6 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ik}^6, \quad u_{\Delta ik}^6 = \kappa_{ik}^6 h_{ik}(t), \quad (106)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ik}^{6+} \left\{ \begin{array}{l} < \inf_{z^1, \Lambda_6} (-z_k^1 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i h_{ik}(t) > 0; \\ > \sup_{z^1, \Lambda_6} (-z_k^1 / |1 + N_{ii}|) \quad \text{npu} \quad s_i h_{ik}(t) \leq 0; \end{array} \right.$$

$$u_{\Delta i}^7 = \sum_{j=1}^{m^2} u_{\Delta ij}^7, \quad u_{\Delta ij}^7 = \kappa_{ij}^7 d_{ij}(t), \quad (107)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ij}^{7+} \begin{cases} < \inf_{z^1, \lambda_{j6}, \Lambda_6} (-\lambda_{j6} / |1 + N_{ii}|) \quad \text{нпу} \quad s_i d_{ij}(t) > 0; \\ > \sup_{z^1, \lambda_{j6}, \Lambda_6} (-\lambda_{j6} / |1 + N_{ii}|) \quad \text{нпу} \quad s_i d_{ij}(t) \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^8 = \sum_{k=1}^n u_{\Delta ik}^8, \quad u_{\Delta ik}^8 = \kappa_{ik}^8 g_{ik}(t), \quad (108)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ik}^{8+} \begin{cases} < \inf_{z^1, \Lambda_6} (-g_{ik}(t) / |1 + N_{ii}|) \quad \text{нпу} \quad s_i g_{ik}(t) > 0; \\ > \sup_{z^1, \Lambda_6} (-g_{ik}(t) / |1 + N_{ii}|) \quad \text{нпу} \quad s_i g_{ik}(t) \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{\Delta i}^9 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m u_{\Delta ij}^9, \quad u_{\Delta ij}^9 = \kappa_{ij}^9 (u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^9), \quad (109)$$

где

$$\text{sign}(1 + N_{ii}) \kappa_{ij}^{9+} \begin{cases} < \inf_{z^1, \Lambda_6} (-N_{ij} / |1 + N_{ii}|) \quad \text{нпу} \quad s_i (u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^9) > 0; \\ > \sup_{z^1, \Lambda_6} (-N_{ij} / |1 + N_{ii}|) \quad \text{нпу} \quad s_i (u_{\Delta j}^1 + \dots + u_{\Delta j}^9) \leq 0. \end{cases}$$

Замечание 6. Управления u_0 (96), u_{Δ} (97) существуют при

$$\left| C^1 M B_0^M (E + \Lambda_2) \right| \neq 0 \forall x_M \in \Omega_x, \quad t \in I. \quad (110)$$

Следовательно, если матрица M в системе уравнений датчиков (10) не удовлетворяет условию (110) (в частности, при $M = 0$ - $n \times n$ для большинства случаев датчиков), то многошаговый скользящий режим при имеющемся объеме информации $(x_e, x_M, \eta_M, \Delta x_M)$ неосуществим. Использование же информации о $x, \eta, \Delta x$ лишает смысла использование датчиков.

Замечание 7. Для компенсации возможного неблагоприятного действия отброшенных малых векторных величин $R_i, i = \overline{1,4}$, в разложениях (92), а также малых произведений в \dot{s}_0 (94) и \dot{s}_{Δ} (95), на процесс приведения системы (76) в скользящий режим при малых по модулю разрывных коэффициентах κ в u_0 и u_{Δ} предлагается в управление u (77) ввести релейную добавку u_P (замечание 3):

$$u = u_0 + u_P + u_{\Delta}, \quad (111)$$

которая может быть найдена, например, из условия

$$\dot{s}_0 = \kappa_g g + \kappa_s s + \delta \operatorname{sign} s, \quad \delta = \operatorname{diag}\{\delta_1, \dots, \delta_m\}, \quad \delta_i < 0. \quad (112)$$

С учётом выражений для \dot{s}_0 (94) и u_0 (96) получаем, что

$$u_p = (u_{p1}, \dots, u_{pm})^T = [C^1 M B_0^M(x_M, t)(E + \Lambda_2(x_M, t))]^{-1} \delta \operatorname{sign} S. \quad (113)$$

В коэффициенты $h_{ik}(t)$, $d_{ij}(t)$, $q_{ik}(t)$ управлений $u_{\Delta i}^6$ (106), $u_{\Delta i}^7$ (107), $u_{\Delta i}^8$ (108), зависящих от u_0 , необходимо в этом случае подставлять не u_0 , а сумму $u_0 + u_p$, где u_0 и u_p определяются по формулам (96) и (113).

8. Применение результатов для управления агрегированной системой экономических объектов (АСЭО).

Рассмотрим уравнения АСЭО [11]. Дополняемые неопределёнными возмущениями, они могут быть приведены к системе дифференциальных уравнений в нормальном виде:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= y + \Delta K(t) \Delta \mathcal{G}, \quad \Delta \mathcal{G} < 0; \\ \dot{y} &= -\rho(t)y + \eta(t)u, \end{aligned} \quad (114)$$

где $t \in I = (t_0, t_k]$, $t_0 = 0$, $t_k = 5$ лет, $q(t)$ - количество выпущенной продукции $y(t)$ - мощность АСЭО, $u(t)$ - поток вновь поступающих и сразу используемых основных фондов; $\rho(t) = \rho_0(t) + \Delta\rho(t)$; $\eta(t) = \eta_0(t) + \Delta\eta(t)$; ограниченные неопределённые возмущения $\Delta\rho, \Delta\eta$ и $\Delta K, \Delta\mathcal{G}$ вызваны неопределённостями в потоках основных ($\Phi(t)$) и оборотных ($\mathcal{G}(t)$) фондов. В передаче и обработке информации о q и y на формирование управления u имеются чистые запаздывания τ_1 и τ_2 (в днях).

Требуется систему АСЭО, описываемую уравнениями (114), вывести из критического состояния, вызванного неопределёнными возмущениями $\Delta\rho, \Delta\eta$ и $\Delta K, \Delta\mathcal{G}$, и обеспечить к моменту $t = t_k$ заданную мощность y^* . Значение $q(t_k)$ не задаётся, на сигнал управления $u(t)$ имеются ограничения $0 \leq u(t) \leq u^*$.

Введём обозначения:

$$\begin{aligned} x &= (x_1, x_2)^T = (q, y)^T, \quad f(x, t) = (x_2, -\rho(t)x_2)^T, \quad B(t) = (0, \eta(t))^T, \\ D(t) &= (K(t), 0)^T, \quad \Delta F(t) = \Delta\mathcal{G}(t). \end{aligned}$$

Тогда в обозначениях системы (1) - (8) получаем:

$$\begin{aligned} B_0 &= B_0^M = \begin{pmatrix} 0 \\ \eta_0 \end{pmatrix}; \quad f_0 = f_0^M = \begin{pmatrix} x_2 \\ -\rho_0 x_2 \end{pmatrix}, \quad f_0^1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad f_0^2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \\ \Delta f &= \Delta f^1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -\Delta\rho x_2 \end{pmatrix} = B_0^M \Lambda_5, \quad \Lambda_5 = -\frac{\Delta\rho x_2}{\eta_0}; \quad \Delta f^2 \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \\ B_0^1 &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \Lambda_2 = 0; \quad \Delta B = \Delta B^1 = \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta\eta \end{pmatrix} = B_0^M \Lambda_6, \quad \Lambda_6 = \frac{\Delta\eta}{\eta_0}; \\ D_0^{M1} &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad D_0^1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \Delta D^1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \Delta D^2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad F_0 = 0, \quad \Delta F = \Delta\mathcal{G}(t); \\ \Lambda_1 &= \Lambda_3 = \Lambda_5 = \Lambda_7 = 0; \quad X_{np} = 0, \quad x = X, \quad \Delta x = \Delta X, \quad x_g = x + \Delta x = x_\partial. \end{aligned}$$

Решим задачу 1. Пусть чистые запаздывания τ_1, τ_2 заранее неизвестны, т. е. Являются ограниченными неопределёнными величинами.

Таковыми же величинами будут являться и ошибки в измерениях q и y . Условия инвариантности (5) в системе (114), как следует из выражения (115), выполняются.

Модельная система (13) принимает вид

$$\dot{x}_M = f_0^M + B_0^M U_M, \quad (116)$$

где f_0^M и B_0^M приведены в выражениях (115). Модельное многошаговое терминальное управление (МТУ) u_M , выводящее систему (116) с точностью $0,001(y_M(t_i) - y^*)$ за время $t_k - t_i, i = \overline{0, k-1}$, на мощность y^* по экспоненте, запишется

$$\begin{aligned} u_M = u_M^i &= \eta_0^{-1} [(\rho_0 - \gamma_i) y_M + \gamma_i y^*], \\ \gamma_i &= -\ln 0,001 / (t_k - t_i), i = \overline{0, k-1}. \end{aligned} \quad (117)$$

Система (20), описывающая многошаговый скользящий режим на прямой скольжения S (15) (118):

$$S(s = C(t)x_s = C_1(t)x_{s1} + C_2(t)x_{s2} = C_1(t)q_s(t) + C_2(t)y_s(t) = 0),$$

на каждом i -м шаге $I_i = (t_i, t_{i+1}]$, $i = \overline{0, k-1}$, запишется

$$\begin{aligned} \dot{q} &= y + \Delta K \Delta \mathcal{G}, \\ \dot{y} &= -\frac{C_1}{C_2} y - \frac{C_1}{C_2} \Delta K \Delta \mathcal{G} - \frac{1}{C_2} [\dot{C}_1(q + \Delta q) + \dot{C}_2(y + \Delta y) + \\ &C_1 \Delta \dot{q} + C_2 \Delta \dot{y}], \end{aligned} \quad (119)$$

где $C_1(q + \Delta q) + C_2(y + \Delta y) = 0$, ($x_s \in S$), $t \in I_i$, $i = \overline{0, k-1}$.

Система дифференциальных уравнений (25) для определения переменных коэффициентов $C_1(t), C_2(t)$, при задании матрицы A в произведении $R = Ax_M$ (24) в виде

$$A = (A^1, A^2) = \begin{pmatrix} \frac{x_{M1}}{x_{M2}} & 0 \\ -\frac{\rho_0 x_{M2} + \eta u_M^i}{x_{M1}} & 0 \end{pmatrix}, \quad A^2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (120)$$

запишется

$$\dot{C}_1 = -(C_1, C_2)A^1 = \frac{y_M}{q_M} C_1 + \frac{\eta_0 u_M^i - \rho_0 y_M}{q_M} C_2, \quad (121)$$

где

$$C_1(t_i)q_s(t_i) + C_2(t_i)y_s(t_i) = 0, \quad C_2 = C_2(t_i) = const, \quad x_M(t_i) = x(t_i), \quad i = \overline{0, k}.$$

В управлении u (29)

$$u = u_0 + u_\Delta, \quad (122)$$

приводящем систему (114) в скользящий режим на гиперплоскости S (118), с учётом равенств $a_B^i = 0$, $a_{BE}^i = 0$, $a_D^j = 0$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, b}$, $m = l = 1$;

$$a_f = - \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \rho_0 \end{pmatrix} \text{ и } [\cdot]_2 = [\cdot]_3 = [\cdot]_4 = [\cdot]_5 = 0 \text{ в выражениях (34) и } \dot{s}_\Delta$$

(36) и равенства $\Lambda_2 = 0$, получаем, согласно формулам для u_0 (40) и u_Δ (41) - (52):

$$u_0 = \frac{1}{c_2 \eta_0} [\kappa_g g + \kappa_s s - (c_1 y_\varepsilon - c_2 \rho_0 y_\varepsilon + \dot{c}_1 q_\varepsilon)], \quad (123)$$

$$u_\Delta = \frac{1}{c_2 \eta_0} (u_\Delta^0 + u_\Delta^1 + u_\Delta^6), \quad (124)$$

где g полагается равным, например, $x_{\varepsilon 1} = q_\varepsilon$;

$$u_\Delta^0 = u_{\Delta 11}^0 + u_{\Delta 12}^0, \quad (125)$$

где $u_{\Delta 11}^0 = \kappa_{11}^0(c_1, c_2)a_f^1 = 0$, так как $a_f^1 = (0, 0)^T$;

$$u_{\Delta 12}^0 = \kappa_{12}^0(c_1, c_2)a_f^2 = \kappa_{12}^0(c_1 - \rho_0 c_2),$$

$$\text{sign}\left(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right) \kappa_{12}^{0+} \begin{cases} < \inf_{\Delta \eta, \Delta y} (-\Delta y / |1 + \Delta \eta / \eta_0|) & \text{при } s(c_1 - \rho_0 c_2) > 0; \\ > \sup_{\Delta \eta, \Delta y} (-\Delta y / |1 + \Delta \eta / \eta_0|) & \text{при } s(c_1 - \rho_0 c_2) \leq 0; \end{cases}$$

$$u_\Delta^1 = u_{\Delta 11}^1 + u_{\Delta 12}^1, \quad (126)$$

где

$$u_{\Delta 11}^1 = \kappa_{11}^1 c_1, \quad u_{\Delta 12}^1 = \kappa_{12}^1 c_2,$$

$$\text{sign}\left(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right) \kappa_{11}^{1+} \begin{cases} < \inf_{\Delta \eta} (-0 / |1 + \Delta \eta / \eta_0|) = 0 & \text{при } s c_1 > 0; \\ > \sup_{\Delta \eta} (-0 / |1 + \Delta \eta / \eta_0|) = 0 & \text{при } s c_1 \leq 0; \end{cases}$$

$$\text{sign}\left(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right) \kappa_{12}^{1+} \begin{cases} < \inf_{\Delta \rho, \Delta y, y_\varepsilon} \left(\frac{\Delta \rho (y_\varepsilon - \Delta y)}{|1 + \Delta \eta / \eta_0|} \right) & \text{при } s c_2 > 0; \\ > \sup_{\Delta \rho, \Delta y, y_\varepsilon} \left(\frac{\Delta \rho (y_\varepsilon - \Delta y)}{|1 + \Delta \eta / \eta_0|} \right) & \text{при } s c_2 \leq 0; \end{cases}$$

$$u_\Delta^6 = u_{\Delta 11}^6 = \kappa_{11}^6 b_{11}(t), \quad b_{11}(t) = (c_1, c_2) B_0^M u_0 = c_2 \eta_0 u_0, \quad (127)$$

где

$$\text{sign}\left(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right) \kappa_{11}^{6+} \begin{cases} < \inf_{\Delta \eta, \eta_0} \left(-\left(\frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right) / \left|1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right| \right) & \text{при } s c_2 \eta_0 u_0 > 0; \\ > \sup_{\Delta \eta, \eta_0} \left(-\left(\frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right) / \left|1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}\right| \right) & \text{при } s c_2 \eta_0 u_0 \leq 0. \end{cases}$$

В управлении u_Δ учтено, что

$$N = [C(a_{BE}) + CB_0^M \Lambda_6]_8 (CB_0^M)^{-1} = \Lambda_6 = \frac{\Delta\eta}{\eta_0},$$

а также то, что $u_{\Delta 1}^8 = 0$ в силу скалярности $N(N_{ij} = 0$ при $i, j \neq 1)$.

При введении релейной добавки

$$u_P = \delta \operatorname{sign} s, \quad \delta < 0,$$

в управлении u , необходимо в u_{Δ}^6 (127) подставлять вместо u_0 сумму $u_0 + u_P$.

Решим задачу 2. Пусть величины чистых запаздываний τ_1, τ_2 заранее известны.

С учётом уравнений (10), (11), описывающих запаздывания τ_1, τ_2 , получаем, с учётом $M = E - 2 \times 2$, систему (12) вида

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, t) + BU + \Delta D^2 \Delta F, \\ \dot{\eta} &= G\eta + Hx, \\ \Delta \dot{x} &= L[G\eta + Hx], \end{aligned} \quad (128)$$

или, в координатах $x_g, \eta, \Delta x$, систему

$$\begin{aligned} \dot{x}_g &= f(x_g - \Delta x, t) + BU + \Delta D^2 \Delta F + L[G\eta + H(x_g - \Delta x)], \\ \dot{\eta} &= G\eta + H(x_g - \Delta x), \\ \Delta \dot{x} &= L[G\eta + H(x_g - \Delta x)], \end{aligned} \quad (129)$$

с выражениями (115) составляющих правых частей.

За модель принимается система (14) при $M = E$:

$$\begin{aligned} \dot{x}_M &= f_0^M(x_M, t) + B_0^M(t)u_M, \quad x_M(t_0) = x(t_0), \\ \dot{\eta}_M &= G\eta_M + Hx_M, \quad \eta_M(t_0) = \eta(t_0), \\ \Delta \dot{x}_M &= L(G\eta_M + Hx_M), \quad \Delta x_M(t_0) = \Delta x(t_0), \end{aligned} \quad (130)$$

где, как и в системе (129),

$$G = \begin{pmatrix} 0 & -12/\tau_1 & 0 & 0 \\ 1 & -6/\tau_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -12/\tau_2 \\ 0 & 0 & 0 & -6/\tau_2 \end{pmatrix} - 4 \times 4, \quad H = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -12\tau_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -12\tau_2 \end{pmatrix} - 4 \times 2,$$

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1/\tau_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\tau_2^2 \end{pmatrix} - 2 \times 4,$$

а модельное управление имеет прежний вид (117), где для обычного скользящего режима $i = 0$.

Применяя методику раздела 5, получаем систему скользящего режима (59) в координатах $x, \eta, \Delta x$ на гиперплоскости S (16)

$$S(s = C^1(t)x_g + C^2(t)\eta + C^3(t)\Delta x = 0), \quad (131)$$

где $C^1 = (C_1^1(t), C_2^1(t))$, $C^2 = (C_1^2(t), C_2^2(t), C_3^2(t), C_4^2(t))$, $C^3 = (C_1^3, C_2^3)$, в виде

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \{\cdot\}_1, \\ \dot{\eta} &= G\eta + Hx, \\ \Delta\dot{x} &= L[G\eta + Hx], \end{aligned} \tag{132}$$

где

$$\begin{aligned} \{\cdot\}_1 &= \{E - B_0^M [C^1 B_0^M]^{-1} C^1\} (f_0^M + \Delta D^2 \Delta F) - B_0^M [C^1 B_0^M]^{-1} \times \\ &\times \{\dot{C}^1(x + \Delta x) + C^1[L(G\eta + Hx)] + \dot{C}^2\eta + C^2[G\eta + Hx] + \dot{C}^3\Delta x + \\ &+ C^3[L(G\eta + Hx)], C^1(t)(x + \Delta x) + C^2(t)\eta(t) + C^3(t)\Delta x = 0, \\ &(y_g \in S(16)). \end{aligned}$$

Рассмотрим сначала случай $\Delta D^2 \Delta F \equiv 0$ (т. е. нет недопоставок оборотных фондов $\Delta \mathcal{G}$), когда возможно тождественное воспроизведение модельного движения (130) в «обычном» (одношаговом) скользящем режиме на подвижной гиперплоскости S (16), (131). Применяя, например, систему (67), получаем следующие уравнения для определения строк C^1, C^2, C^3 :

$$\dot{C}_1^1 = (C_1^1, C_2^1; C_1^2, C_2^2, C_3^2, C_4^2; C_1^3, C_2^3) A^1, \tag{133}$$

где $A^1 = (r_1 / x_{M\delta 1}, \dots, r_q / x_{M\delta 1})^T$, $A^j = 0$, $j = \overline{2, q}$; $q = 2n + r = 8$;

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_M + \frac{1}{\tau_1^2} (\eta_{M1} - \frac{6}{\tau_1} \eta_{M2} - 12\tau_1 q_M) \\ -\rho_0 y_M + \frac{1}{\tau_1^2} (\eta_{M3} - \frac{6}{\tau_2} \eta_{M4} - 12\tau_2 y_M) + \eta_0 u_M \\ -\frac{12}{\tau_1} \eta_{M2} \\ \eta_{M1} - \frac{6}{\tau_1} \eta_{M2} - 12\tau_1 q_M \\ -\frac{12}{\tau_2} \eta_{M4} \\ \eta_{M3} - \frac{6}{\tau_2} \eta_{M4} - 12\tau_2 y_M \\ \frac{1}{\tau_1^2} (\eta_{M1} - \frac{6}{\tau_1} \eta_{M2} - 12\tau_1 q_M) \\ \frac{1}{\tau_1^2} (\eta_{M3} - \frac{6}{\tau_2} \eta_{M4} - 12\tau_2 y_M) \end{pmatrix};$$

$R = Ay_{M\delta}$; $A = (A^1, \dots, A^q)$; коэффициенты $C_2^1; C_1^2, C_2^2, C_3^2; C_4^2; C_1^3; C_2^3$ являются постоянными и удовлетворяют вместе с $C_1^1(t)$ условию (64)

$$\begin{aligned} C_1^1(t_0)(x_1(t_0) + \Delta x_1(t_0)) + C_2^1(x_2(t_0) + \Delta x_2(t_0)) + C_1^2\eta_1(t_0) + C_2^2\eta_2(t_0) + \\ C_3^2\eta_3(t_0) + C_4^2\eta_4(t_0) + C_1^3\Delta x_1(t_0) + C_2^3\Delta x_2(t_0) = 0. \end{aligned}$$

Начальные условия в системах (128) и (130) должны согласно требованию (61) совпадать.

Найдём разрывное управление u , приводящее систему (128) в скользящий режим на подвижной гиперплоскости S (131). Согласно методике раздела 7 для управления $u = u_0 + u_\Delta$ получаем следующие выражения u_0 (80) и u_Δ (82):

$$u_0 = \frac{1}{C_2^1 \eta_0} \left\{ \kappa_g g + \kappa_s s - \{ \dot{C}_1^1 q_g + (C_1^1(t) - C_2^1 \rho_0(t)) y + \frac{C_1^1(t)}{\tau_1^2} (\eta_1 - \frac{6}{\tau_1} \eta_2 - 12\tau_1 q) + \frac{C_2^1}{\tau_2^2} (\eta_3 - \frac{6}{\tau_2} \eta_4 - 12\tau_2 y) - C_1^2 \frac{12}{\tau_1} \eta_2 + C_2^2 (\eta_1 - \frac{6}{\tau_1} \eta_2 - 12\tau_1 q) - C_3^2 \frac{12}{\tau_2} \eta_4 + C_4^2 (\eta_3 - \frac{6}{\tau_2} \eta_4 - 12\tau_2 y) + \frac{C_1^3(t)}{\tau_1^2} (\eta_1 - \frac{6}{\tau_1} \eta_2 - 12\tau_1 q) + \frac{C_2^3}{\tau_2^2} (\eta_3 - \frac{6}{\tau_2} \eta_4 - 12\tau_2 y) \} \right\}$$

где, например, $g = q_g$, и

$$u_\Delta = \frac{1}{C_2^1 \eta_0} \sum_{j=1}^6 u_\Delta^j, \tag{135}$$

где

$$\begin{aligned} u_\Delta^1 &= \kappa^1 C_2^1, \\ \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \kappa^{1\pm} &\begin{cases} < \inf_{\Delta\eta, \Delta\rho y} (-\Delta\rho y / |1 + \Delta\eta / \eta_0|) & \text{при } sC_2^1(t) > 0; \\ > \sup_{\Delta\eta, \Delta\rho y} (-\Delta\rho y / |1 + \Delta\eta / \eta_0|) & \text{при } sC_2^1(t) \leq 0; \end{cases} \\ u_\Delta^2 &= u_\Delta^3 = u_\Delta^4 = u_\Delta^6 = 0; \\ u_\Delta^5 &= \kappa^5 C_2^1 \eta_0, \\ \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \kappa^{5\pm} &\begin{cases} < \inf_{\Delta\eta} \left(-\frac{\Delta\eta / \eta_0}{|1 + \Delta\eta / \eta_0|}\right) & \text{при } sC_2^1 \eta_0 u_0 > 0; \\ > \sup_{\Delta\eta} \left(-\frac{\Delta\eta / \eta_0}{|1 + \Delta\eta / \eta_0|}\right) & \text{при } sC_2^1 \eta_0 u_0 \leq 0. \end{cases} \end{aligned}$$

Векторы $x, \eta, \Delta x$ находятся по модели (130).

Рассмотрим теперь случай, когда $\Delta D^2 \Delta F \neq 0$. По методике разделов 5 и 7, задавая гиперплоскость скольжения в системе (128) в виде S (90)

$$S(s = c^1(t)x_g = 0), \quad x_g = x + \Delta x, \quad c^1 = (c_1^1, c_2^1), \tag{136}$$

получаем для управления $u = u_0 + u_\Delta$ на многошаговом скользящем режиме следующие уравнения и выражения для определения строки $c^1(t) = (c_1^1(t), c_2^1(t))$ (замечание 4 раздела 5, либо частный случай системы (133) при $c^2 = (0,0,0,0)$, $c^3 = (0,0)$) и составляющих u_0 (96), u_Δ (97) (раздел 7):

$$\dot{C}^1 = -C^1 A^1, \tag{137}$$

где

$$A^1 = (r_1 / q_{M6}, r_2 / q_{M6})^T = \frac{1}{q_{M6}} (y_M + \frac{1}{\tau_1^2} (\eta_{M1} - \frac{6}{\tau_1} \eta_{M2} - 12\tau_1 q_M),$$

$$- \rho_0 y_M + \frac{1}{\tau_2^2} (\eta_{M3} - \frac{6}{\tau_2} \eta_{M4} - 12\tau_2 y_M) + \eta_0 U_M^i)^T, \quad C_2^1 = const,$$

$$C_1^1(t_i)(q(t_i) + \Delta q(t_i)) + C_2^1(y(t_i) + \Delta y(t_i)) = 0,$$

$$q_M(t_i) = q(t_i), \quad y_M(t_i) = y(t_i); \quad \eta_{Mj}(t_i) = \eta_j(t_i), \quad j = \overline{1,4};$$

$$\Delta q_M(t_i) = \Delta q(t_i), \quad \Delta y_M(t_i) = \Delta y(t_i), \quad i = \overline{0, k-1};$$

управления u_M^i находятся по формуле (117);

$$u_0 = \frac{1}{C_2^1 \eta_0} \{ \kappa_g g + \kappa_s s - C_1^1 [y_M + \frac{1}{\tau_1^2} (\eta_{M1} - \frac{6}{\tau_1} \eta_{M2} - 12\tau_1 q_M)] -$$

$$- C_2^1 [-\rho_0 y_M + \frac{1}{\tau_2^2} (\eta_{M3} - \frac{6}{\tau_2} \eta_{M4} - 12\tau_2 y_M)] \}, \quad (138)$$

где, например, $g = q_6$;

$$u_\Delta = \frac{1}{C_2^1 \eta_0} \sum_{j=1}^9 u_\Delta^j, \quad (139)$$

где

$$u_\Delta^1 = \kappa^1 C_2^1,$$

$$sign(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}) \kappa^{1\pm} \begin{cases} < \inf_{\Delta \rho, \Delta \eta, y} (\Delta \rho y / |1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}|) \quad npu \quad sc_2^1 > 0; \\ > \sup_{\Delta \rho, \Delta \eta, y} (\Delta \rho y / |1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}|) \quad npu \quad sc_2^1 \leq 0; \end{cases}$$

$$u_\Delta^2 = u_\Delta^3 = u_\Delta^6 = u_\Delta^8 = u_\Delta^9 = 0;$$

$$u_\Delta^4 = \sum_{k=1}^4 u_{\Delta k}^4, \quad \begin{cases} u_{\Delta 1}^4 = \kappa_1^4 \frac{c_1^1}{\tau_1^2}, \quad u_{\Delta 2}^4 = \kappa_2^4 (-\frac{6c_1^1}{\tau_1^3}), \\ u_{\Delta 3}^4 = \kappa_3^4 \frac{c_2^1}{\tau_1^2}, \quad u_{\Delta 4}^4 = \kappa_4^4 (-\frac{6c_2^1}{\tau_1^3}), \end{cases}$$

$$sign(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}) \kappa_1^{4\pm} \begin{cases} < \inf_{z_1^2, \Delta \eta} (-z_1^2 / |1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}|) \quad npu \quad sc_1^1 / \tau_1^2 > 0; \\ > \sup_{z_1^2, \Delta \eta} (-z_1^2 / |1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}|) \quad npu \quad sc_1^1 / \tau_1^2 \leq 0; \end{cases}$$

$$sign(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}) \kappa_2^{4\pm} \begin{cases} < \inf_{z_2^2, \Delta \eta} (-z_2^2 / |1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}|) \quad npu \quad s(-c_1^1 6 / \tau_1^3) > 0; \\ > \sup_{z_2^2, \Delta \eta} (-z_2^2 / |1 + \frac{\Delta \eta}{\eta_0}|) \quad npu \quad s(-c_1^1 6 / \tau_1^3) \leq 0; \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} & \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \kappa_3^{4+} &< \inf_{z_3^2, \Delta\eta} \left(-z_3^2 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(c_2^1 / \tau_1^2) > 0; \\ & &> \sup_{z_3^2, \Delta\eta} \left(-z_3^2 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(c_2^1 / \tau_1^2) \leq 0; \end{aligned} \right\} \\ & \left. \begin{aligned} & \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \kappa_4^{4+} &< \inf_{z_4^2, \Delta\eta} \left(-z_4^2 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(-c_2^1 6 / \tau_2^3) > 0; \\ & &> \sup_{z_4^2, \Delta\eta} \left(-z_4^2 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(-c_2^1 6 / \tau_2^3) \leq 0; \end{aligned} \right\} \\ & u_{\Delta}^5 = \sum_{k=1}^2 u_{\Delta k}^5, \quad u_{\Delta 1}^5 = \kappa_1^5 \left(-\frac{12C_1^1}{\tau_1}\right), \quad u_{\Delta 2}^5 = \kappa_2^5 \left(-\frac{12C_2^1}{\tau_2}\right), \\ & \left. \begin{aligned} & \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \chi_1^{5+} &< \inf_{z_1^1, \Delta\eta} \left(-z_1^1 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(-12c_1^1 / \tau_1) > 0; \\ & &> \sup_{z_1^1, \Delta\eta} \left(-z_1^1 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(-12c_1^1 / \tau_1) \leq 0; \end{aligned} \right\} \\ & \left. \begin{aligned} & \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \chi_2^{5+} &< \inf_{z_2^1, \Delta\eta} \left(-z_2^1 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(-12c_2^1 / \tau_2) > 0; \\ & &> \sup_{z_2^1, \Delta\eta} \left(-z_2^1 / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s(-12c_2^1 / \tau_2) \leq 0; \end{aligned} \right\} \\ & u_{\Delta}^7 = \kappa^7 C_2^1 u_0; \\ & \left. \begin{aligned} & \text{sign}\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right) \kappa^{7+} &< \inf_{\Delta\eta} \left(-\Delta\eta / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s c_2^1 u_0 > 0; \\ & &> \sup_{\Delta\eta} \left(-\Delta\eta / \left|1 + \frac{\Delta\eta}{\eta_0}\right|\right) & \text{при } s c_2^1 u_0 \leq 0; \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

В управлении u_{Δ} учтено, что в $N(\Lambda_6, z^1)$ (98) $a_B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, $a_{\Lambda} = (0,0)$,

$\Lambda_6 = \Delta\eta / \eta_0$, $\Lambda_2 = 0$ и, следовательно, $N(\Lambda_6, z^1) = \Lambda_6 = \Delta\eta / \eta_0$.

При введении релейной добавки

$$u_P = \delta \text{sign } s, \quad \delta < 0,$$

в управление u , необходимо в u_{Δ}^7 подставлять вместо u_0 сумму $u_0 + u_P$.

Заключение

Таким образом, получены следующие новые результаты.

1. Метод вывода уравнений скользящего режима, условия их инвариантности к определённому классу неопределённых возмущений и к отличиям от модельной системы и метод многошагового построения подвижного многообразия скольжения для воспроизведения с заданной точностью желаемого модельного движения в условиях ограниченных неопределённых ошибок измерений, когда точная информация о состоянии системы известна лишь с определённым тактом, в начале шагов построения управления.

2. Метод построения разрывного векторного управления с неопределёнными погрешностями измерений, приводящего систему управления в скользящий режим на подвижном многообразии скольжения в условиях неопределённых возмущений без прямого использования точной информации о состоянии (а лишь опосредованно, в начале шагов и через вычисляемые значения переменных коэффициентов многообразия скольжения) и основанный на линеаризации правой части системы относительно вычисляемого вектора состояния в результате её разложения в ряд Тейлора по степеням составляющих вектора неопределённых погрешностей измерений.

3. Получены уравнения скользящего режима на подвижном многообразии, формируемом с учётом уравнений и показаний датчиков, показана инвариантность скользящего режима к прежнему классу неопределённых возмущений и отличий от модели и возможность тождественного воспроизведения модельных движений с начального момента времени $t = t_0$ при отсутствии других возмущений и отличий. Получен метод формирования матрицы такого подвижного многообразия скольжения. Информация о векторе состояния системы и его производных требуется для формирования разрывного управления только в начальный момент времени, так как далее она может быть получена и по модельной системе в силу тождественного воспроизведения её движения. Других отличий в подходе к формированию разрывного управления от подходов при полной информации в данном случае не имеется. Алгоритм разрывного управления и его реализация при учёте динамики датчиков усложняется.

4. При наличии неопределённых возмущений и отличий, не удовлетворяющих условиям инвариантности при учёте уравнений и показаний датчиков, предлагается многошаговый скользящий режим с построением многообразия скольжения в начале каждого шага разбиения исходного промежутка времени. Показано, что для обеспечения заданной точности воспроизведения модельного движения информация о векторе состояния системы понадобится уже не только в начальный момент, но и в начале каждого шага. Так как на шагах использование такой информации не предполагается, то для формирования разрывного управления, приводящего систему в скользящий режим, и подвижного многообразия скольжения применяется только вычисляемый вектор состояния. С учётом малости неопределённых отклонений движение от модельного нелинейности линеаризуются относительно модельного движения, что позволяет использовать в построении управления и вектор состояния модельной системы. Отклонения являются в данном случае дополнительными ограниченными неопределёнными возмущениями, действие которых на процесс приведения в скользящий режим компенсируется.

5. Показано применение полученных методов управления для вывода АСЭО на заданную мощность в условиях неопределённых возмущений и неопределённых погрешностей измерений, вызванных неопределёнными по величине чистыми запаздываниями в передаче и обработке информации о состоянии системы, а также в условиях неопределённых возмущений, но при известных чистых запаздываниях. Решены задачи воспроизведения модельных движений с заданной точностью на

многошаговых и тождественного воспроизведения на одношаговых скользящих режимах соответственно в условиях неопределённых величин чистого запаздывания, неопределённых потоков основных и оборотных фондов и в условиях известных величин чистого запаздывания и неопределённости только в потоке основных фондов.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта 18-48-160042.

1. Мещанов А.С., Севрюгин С.Ю., Зарипова А.Ф. Синтез скользящих режимов в системах с неопределёнными возмущениями и погрешностями в измерениях. *Авиационная техника*. 2014, №1 С. 47-53.
2. Мещанов А.С., Гатауллина Л.А., Туктаров Э.А. Синтез скользящих режимов при ограниченных неопределённых погрешностях измерений и возмущениях. *Наука и современное общество: взаимодействие и развитие. Материалы V Международной научно-практической конференции*. г.Уфа, 15-16 декабря, 2018 г. С.50-64.
3. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Л.: Наука, 1985, 112 с.
4. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Официальное издание. М.: ИПК. Издательство стандартов, 2000, 46 с.
5. Уткин В.И. Скользящие режимы и их применение в системах с переменной структурой. М. : Наука, 1974 - 275 с.
6. Катковник В.Я., Полуэктов В.А. Многомерные дискретные системы управления. М. : Наука, 1966, - 416 с.
7. Бонч - Бруевич А.М., Быков В.А., Чинаев А.И. Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем. М.: Машиностроение, 1968, - 92 с.
8. Афанасьев В.А., Мещанов А.С., Сиразетдинов Т.К. Многошаговое терминальное управление системами при неопределённости с учётом ограничений. *Кибернетика и вычислительная техника*, 1987, вып. 73, с. 79 - 86.
9. Мещанов А.С. Разрывное управление манипуляторами летательного аппарата, *Изв.вузов. Авиационная техника*, № 3, с. 28 - 31.
10. Мещанов А.С. О приведении в скользящий режим многомерных разрывных систем с нелинейным нестационарным объектом. // *Устойчивость движения*. - Новосибирск, 1985, - с. 230 - 234.
11. Рафиков М.М., Сиразетдинов Т.К. К задаче агрегирования системы экономических объектов по конечной продукции производства. *Изв.вузов, Авиационная техника*, 1971, №1, с. 95 - 100.

Тащилин Л.Н.

Место гидро - и пневмоприводов в современной технике

*ВКА имени А.Ф. Можайского
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-03

idsp: sciencerussia-10-02-2020-03

Аннотация

В статье рассмотрены области применения, круг задач, решаемых с применением гидро - и пневмоприводов, а также их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: гидропривод, пневмопривод, система управления, бесступенчатое регулирование, гидромотор, гидропневмоавтоматика, мехатронные модули.

Abstract

The article considers the scope of application, the range of tasks solved with the use of hydro - and pneumatic actuators, as well as their advantages and disadvantages.

Keywords: hydraulic drive, pneumatic drive, control system, stepless control, hydraulic motor, hydropneumoautomatics, mechatronic modules

Гидропривод на современном уровне широко применяется в машиностроении и стал неотъемлемой составной частью современных мобильных машин и промышленного оборудования. Гидропривод динамично развивается в различных отраслях машиностроения, как по количественным показателям, так и в части повышения технического уровня. Следует отметить, что современный этап развития гидропривода характеризуется, прежде всего, массовостью его производства во многих странах мира, автоматизацией производственных процессов, гидрофицированностью машин за счет использования достижений электрогидроавтоматики, поиском энергосберегающих решений на основе использования насосов и гидромоторов с регулируемым рабочим объемом, расширением температурного диапазона, широкой стандартизацией гидравлических компонентов, снижением уровня шума и снижением металлоемкости гидромашин и гидроаппаратов [1].

Гидравлика, как прикладная наука, и соответственно гидропривод применяется для решения различных инженерных задач в сфере:

- водоснабжения и водоотведения (канализации);
- транспортировки веществ по трубопроводу: газ, нефть и т.п.;
- строительства различных гидротехнических сооружений, водозаборных построек;
- конструирования различных устройств, машин, механизмов: насосов компрессоров; демпферов; амортизаторов; гидравлических прессов и др.;
- медицины.

Особенно большое значение гидроприводы приобретают в машиностроении, где приходится иметь дело с закрытыми руслами (например, трубами) и напорными течениями в них, то есть с потоками без свободной поверхности с давлением, отличным от атмосферного.

Гидроприводы, оснащенные системами автоматического или ручного управления, широко используют в различных металлорежущих станках, роботах-манипуляторах, прокатных станах и прессах, на сухопутных транспортных машинах (колесных и гусеничных), в строительно-дорожных, подъемно-транспортных и сельскохозяйственных машинах, на летательных аппаратах (самолетах, вертолетах, ракетах) и т.п. (см. рис. 1).

Гидропривод дает возможность бесступенчатого регулирования скорости движения и частоты вращения приводного ДВС, максимального использования его мощности, повышения коэффициента полезного действия, улучшения эксплуатационных качеств машины [2]. Небольшая инерционность обеспечивает хорошие динамические свойства привода, позволяет сократить время рабочего цикла и повысить производительность машины. В гидроприводе высокомоментными гидромоторами передаточное число достигает 1000 и более, другими словами, открывается возможность реализации больших передаточных чисел для повышения эффективности работы оборудования.

В гидроприводах машин сельскохозяйственного назначения широко используются объемные гидроприводы. Это объясняется тем, что на выходных звеньях гидродвигателей (штоках поршней гидроцилиндров, валах гидромоторов) можно достичь значительных усилий или крутящих моментов, при этом скорость движения рабочей жидкости в объемных приводах небольшая (не превышает 10 м/с).



а - современный высокоточный токарный станок; ж - автомобильная вышка на базе MAN;
 б - гидравлический пресс с П-образной станиной; и - легковой автомобиль;
 в - военно-транспортный самолет Ан-178; к - газораспределительная станция;
 г - одноковшовый экскаватор Caterpillar; л - гидротурбина;
 д - автомобильный кран Grove; м - плотина;
 е - зерноуборочный комбайн John Deere; н - медицинские приборы и оборудование.

Рис. 1. Примеры использования гидравлических приводов

Независимое расположение сборочных единиц гидропривода позволяет оптимально разместить их в машине. Клапаны предохранительные, переливные, разгрузочные, разницы давлений, тормозные, а также блоки клапанов надежно предохраняют от перегрузок приводного двигателя, гидросистемы, металлоконструкций и рабочих органов. Это одно из наиболее важных свойств объемного гидропривода.

Компоненты гидропривода компактные, у них небольшая масса благодаря отсутствию в машине с гидроприводом таких традиционно применяемых деталей и механических узлов, как зубчатые и цепные редукторы, муфты, тормоза, барабаны лебедок, полиспадные блоки, канаты и другие быстро изнашивающиеся детали, требующие регулярного технического обслуживания.

В современном гидроприводе источником энергии, создающим движение рабочей жидкости (РЖ) являются насосы, которые приводятся в действие ДВС (преимущественно в мобильных машинах) или от электродвигателя (в стационарных промышленных установках). В зависимости от циркуляции РЖ гидравлические схемы подразделяются на разомкнутые и замкнутые [3].

К преимуществам гидропривода с замкнутым потоком относятся:

- значительно меньший объем РР, так как потребность в ней определяется рабочими объемами гидромоторов, а размеры бака выбирают исходя из подач насоса в систему подпитки, что компенсирует объемные потери насоса и гидромотора;
- избыточное давление на входе в насос обеспечивает его работу при максимальной частоте вращения, что позволяет применить насос меньшего рабочего объема (меньших типоразмеров, массы и стоимости) и использовать объемный гидропривод в условиях холодного климата на масле МГ-15В. Кроме того, избыточное давление на входе в основной насос позволяет запускать в работу машину при температуре масла МГ-15В ниже - 40 °С без разогрева РР;
- отсутствует контакт РР с окружающей средой, что исключает загрязнение гидросистемы, увеличивает ресурс гидропривода и периодичность замены рабочей жидкости;
- регулируемые реверсивные аксиально-поршневые насосы гидроприводов с замкнутым потоком позволяют изменять направление вращения вала гидромотора без золотниковых распределителей, обычно используемых для этой цели в гидроприводах с разомкнутым потоком, и за счет этого – повысить КПД гидропривода.

Наряду с широким применением в машиностроении гидравлических приводов все большее распространение получают пневматические приводы, которые используют в качестве энергоносителей энергии сжатого воздуха или газа.

В зависимости от вида технологической нагрузки пневматические приводы можно разделить на две группы: приводы с силовой нагрузкой (внешняя нагрузка определяется технологическим процессом – в основном, это приводы малой грузоподъемности (до 5 кг) или с замкнутой кинематической цепью) и приводы с инерционной нагрузкой (сила технологического сопротивления перемещению штока равна нулю, а сводная сила трения гораздо меньше силы инерции, возникающей при движении рабочего органа – приводы большой грузоподъемности с разомкнутой кинематической цепью).

К пневмоприводам с инерционными нагрузками, в первую очередь, следует отнести приводы линейного перемещения захвата руки промышленных роботов, а также механизмы поворота и подъема. В основном, это разомкнутые кинематические цепи, в конечной точке которых сосредоточена масса, подлежащая манипулированию.

В настоящее время пневматические приводы широко и эффективно используются в оборудовании для групповой упаковки в основном потому, что при несложной конструкции можно обеспечивать линейное перемещение рабочих органов. Они, как правило, выполняют позиционирование рабочих органов в двух крайних точках, определенных упорами. Система управления такими приводами является циклической и обеспечивается дискретным сигналом [4]. Движение рабочих органов от начальной до конечной точки с помощью пневмопривода осуществляется как правило без контроля траектории между ними. Развитие микропроцессорной техники и растущие требования к функциональности пневмопривода привели к разработке и использованию следующего поколения пневмоприводов – следящих. Комплексные решения конструкций следящих пневмоприводов предлагают всемирно известные производители пневматической техники, компании «Festo», «Camozzi», «SMC» и др.

Принцип действия таких приводов заключается в непрерывном сравнении входного управляющего сигнала перемещения с исходным исполнительным приводом или механически с ним связанным рабочим органом. В известных конструкциях

приводов используется контурное управление специальной следящей системой, которая воспроизводит регулируемую величину с разной степенью точности в соответствии с приложенным управляющим воздействием.

Подобный принцип работы характерен для систем автоматического регулирования. Сочетание таких систем с пневмоприводом дает возможность расширить его функциональные свойства, например, реализовать перемещение рабочих органов по предварительно заданным законам движения, выполнить контроль качества процесса с помощью различных обратных связей. Анализ конструкций и схем следящего пневмопривода позволяет сделать вывод о его конструкциях как о сложной динамической системе, которая состоит из механических, пневматических, электрических, информационно-измерительных и микропроцессорных элементов.

Энергия сжатых жидкости и воздуха находит применение в самых различных областях техники. Гидро - и пневмоприводы являются основой гидропневмоавтоматики – комплекса технических средств для построения систем автоматического управления, в которых информация представляется и передается в виде гидро- и пневмосигналов (перепадов давления или расхода жидкости и газа (воздуха) соответственно). Гидропневмоавтоматика имеет важное значение в вопросах автоматизации производственных и технологических процессов во многих сферах с целью повышения производительности и улучшения условий труда. Перспективным является ее использование в сочетании с электрической или электронной управляющей частью (см. рис. 2).

Гидравлические и пневматические приводы хорошо сочетаются с цифровыми управляющими вычислительными машинами. Сочетание цифровых вычислительных машин с гидравлическими и пневматическими приводами дает возможность создавать недорогие, надежные и экономичные системы автоматического управления с широким диапазоном регулирования скорости движения, числа позиций при заданной дискретности позиционирования выходного звена.



погрузка, разгрузка и размещение в оптимальное положение изделия для дальнейшей механической обработки с шести сторон



универсальный робот позиционирует деталь для двух сварочных роботов, которые затем выполняют операцию сварки

Рис. 2. Промышленные роботы KUKA

В соответствии с общими принципами управления технологическими процессами, автоматическое управление осуществляется на основе информации, получаемой от различных средств автоматизации (датчики, реле и т.д.). Гидропневмоавтоматика играет значительную роль в автоматизации различных

технологических процессов при сборке, сортировке, упаковке, клеймении, штамповке изделий.

Системы автоматизации, в зависимости от выполняемых функций, делятся на автоматические системы контроля, управления и регулирования.

Технические средства автоматизации служат для получения, передачи, преобразования и хранения контрольной информации, формирования и передачи контрольной информации, использования ее для воздействия на управляемый процесс. Электрические устройства выполняют в системах управления функции генерации и обработки сигналов.

Пневматические устройства выполняют различные задачи, связанные с поступательной или вращательной передачей нагрузки, а именно: зажим, перемещение, позиционирование, ориентация.

Несмотря на чрезвычайно большую совокупность различных установок, автоматических линий, построенных на основе пневмоавтоматики, все они могут рассматриваться как совокупность трех отдельных частей или блоков. Они содержат в себе выходные устройства, элементы для обработки сигналов и входные элементы, обеспечивающие ввод сигналов и обратную связь. В терминах аппаратного обеспечения это означает, что для передачи сигналов должны существовать входные, процессорные, руководящие и исполнительные устройства.

В автомобилях, автогрейдерах, одноковшовых погрузчиках, например, применяется пневматический привод тормозов, что объясняется его преимуществами перед гидроприводом:

- небольшие потери давления в пневмолинии, в результате чего их длина может достигать нескольких сот метров;
- сжатый воздух не образует горючих и взрывоопасных смесей, вследствие чего пневмопривод можно применить там, где есть повышенные требования к пожарной безопасности;
- сжатый воздух не загрязняет окружающей среды.

Вместе с тем пневмопривод имеет и некоторые недостатки:

- необходимо предусмотреть специальные системы смазки;
- высокая сжимаемость воздуха не обеспечивает без дополнительных мер плавности и точности движения выходного звена пневмопривода, если нагрузки нестабильные;
- вследствие больших утечек воздуха КПД пневмопривода меньше КПД гидропривода;
- при одинаковых габаритах пневмодвигатели имеют меньшую мощность, чем гидравлические двигатели, что можно объяснить небольшим давлением воздуха.

Задачи, которые могут выполняться роботами оснащенными гидропневмоавтоматикой, включают в себя:

1. Простое перемещение:
 - а) загрузки / разгрузки станков;
 - б) манипулирование деталями (упаковка, сортировка, транспортировка и ориентация);
 - в) размещение в паллетах.
2. Перемещение и обработка:
 - а) точечная сварка;
 - б) сварка сплошным швом;
 - в) составление механических и электрических деталей;
 - г) составление электронных деталей;

- д) окраска распылением;
- е) укладка кабеля;
- ж) резка.

3. Перемещение и контроль (подразделение категории деталей при загрузке/разгрузке в соответствии с типами станков выполняемых операций):

- а) станки для удаления заусенцев, сверлильные, шлифовальные, для фрезерования;
- б) формирование пластмасс и инъекционного литья;
- в) литья под давлением;
- г) горячая ковка и листовая штамповка;
- д) загрузка / разгрузка печей;
- е) термообработка;
- ж) литейные цеха литья в песочные формы, в соответствии с выплавляемыми моделями.

Наиболее успешно работы применяются на операциях: сварки, погрузки / разгрузки станков, литья и покраски.

Главным преимуществом гидравлических и пневмоприводов является принцип обратной связи, который позволяет осуществлять контроль качества регулирования по отклонению управляемого параметра от заданного. В идеальном, для пользователя, варианте система гидро - пневмопривода, получив на вход информацию о цели управления, будет выполнять с желаемыми показателями качества и точности заданное функциональное движение. Таким образом, система гидро - пневмопривода, по сути, имеет качества системы, которая само настраивается [4].

Перспективной тенденцией развития систем гидроприводов является использование систем, построенных с использованием модулей LS (load sensing - чувствительный к нагрузке) [5]. Такие системы содержат объемный насос с регулируемой подачей и имеют лучшие энергетические показатели.

Применение мехатронного подхода к созданию машин с гидро - пневмоприводом и компьютерным управлением определяет их основные преимущества по сравнению с традиционными средствами автоматизации [6]:

- относительно небольшую цену, благодаря большой степени интеграции, унификации и стандартизации всех элементов и интерфейсов;
- высокое качество реализации сложного и точного движения исполнительных механизмов, в результате применения методов интеллектуального управления;
- высокую надежность, долговечность и защищенность от возмущений;
- конструктивную компактность модулей (до миниатюризации в микромашину);
- улучшение массогабаритных и динамических характеристик машин вследствие упрощения кинематических и коммуникационных звеньев;
- возможность интегрирования функциональных модулей в сложные системы и комплексы под конкретные задачи заказчика.

Также перспективным направлением проектирования и производства промышленного оборудования с использованием гидро - пневмоприводов является внедрение блочно-модульного принципа. Для современных систем гидро - пневмопривода такими модулями являются мехатронные модули движения – синергетическая совокупность механических (гидромеханических, пневмомеханических), электротехнических, электронных компонентов, а также информационных и программных средств, реализующих достижение заданного управляемого движения.

Это позволяет проводить декомпозицию сложных систем гидро - пневмопривода, уменьшая количество степеней свободы, и в результате получить их иерархическую структуру. По результатам структурного синтеза представляется возможным упростить их схемную реализацию за счет минимизации внутренних обратных связей, которые можно получить из информационной модели, включить структуру объекта в процесс функционирования, использовать типовые модули при построении систем гидро - пневмопривода.

Таким образом, благодаря своим широким преимуществам гидравлические и пневматические приводы нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения в качестве исполнительных механизмов современных мехатронных модулей, систем управления производственными процессами, технологическими и мобильными машинами.

1. Посметьев В.И., Никонов В.О., Латышева М.А., Тульнов М.О. Оценка целесообразности использования многокамерного электрогидравлического насоса в гидроприводах строительно-дорожных и транспортных машин // Строительные и дорожные машины. - 2018. - №1. - С. 36-42.
2. Чан В.Х. Разработка системы управления процессом наложения давления в гидроприводе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. - 2018. - №7. - С. 143-146.
3. Жулай В.А., Устинов Ю.Ф., Муравьев В.А., Волков Н.М., Никитин С.А. Кинематическое исследование механизма подъема-опускания стрелы автомобильного крана с гидроприводом // Строительные и дорожные машины. - 2018. - №6. - С. 18-21.
4. Терентьева А.Д. Оценка влияния динамических характеристик на работу машинного агрегата с гидроприводом // Машиностроение и компьютерные технологии. - 2018. - №4. - С. 1-12.
5. Янюк Ю.В., Егоров Н.А. Проверка возможности модернизации системы управления гидроприводом прессов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2018. - №5. - С. 22-25.
6. Месропян А.В., Шарипов Р.Р. Моделирование реальных нагрузок на стенде испытания гидроприводов // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. - 2018. - №1(18). - С. 73-75.

РАЗДЕЛ II. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Суслова С.А., Штыркина Т.В., Горшкова И.С.

Автоматизированный расчет и сравнительный анализ технологических показателей воды

*Липецкий государственный технический университет
(Россия, Липецк)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-04

idsp: sciencerussia-10-02-2020-04

Аннотация

В работе представлен расчет технологических показателей проб воды, взятых из разных источников, и сравнение этих показателей до и после очистки. Автоматизированный расчет и анализ выполнены с помощью программного обеспечения MS EXCEL. По результатам расчетов построена сравнительная диаграмма, которая позволяет наглядно сравнить показатели воды до и после очистки.

Ключевые слова: автоматизированный расчет, показатели воды, сравнительная характеристика.

Целью данной работы является расчет технологических показателей воды из разных источников и сравнение этих показателей до и после очистки.

Паровые котлы – это комплекс технологического взаимосвязанного оборудования, установленного для выработки пара из воды, используемого в различных отраслях: энергетика, жилищно-коммунальное хозяйство, металлургия, нефтехимия, медицина и строительство.

Качество воды, заливаемой в котел, оказывает непосредственное влияние на надежность и эксплуатационный срок каждой котельной установки. По этой причине выдвигаются особые требования к котловой воде, чтобы снизить риск поломки дорогостоящего оборудования и обеспечить максимально надежную работу.

Котловая вода должна отвечать четырем основным требованиям, чтобы обеспечить качественную работу котла:

1. Жесткость воды не должна превышать 2 мг – экв/л;
2. Значение рН должно быть не ниже 9;
3. Вода должна быть фосфатирована;
4. Не должна содержать излишки кислорода.

Требования, предъявляемые к добавочной воде для паровых котлов, могут меняться и зависеть от рабочего давления котла, качества сжигаемого топлива, особенностей конструкции котла.

Любая вода, перед тем как попасть в котел, должна, в зависимости от исходных показателей, пройти несколько этапов очистки. Обработка питательной воды обычно состоит из двух этапов:

1. Предварительная очистка воды проводится для удаления грубодисперсных и коллоидных примесей.
2. Умягчение или частичное химическое обессоливание обеспечивают снижение жесткости, солесодержания и щелочности воды.

От исходных показателей воды зависят параметры водоподготовительной установки, которая предназначена для умягчения и частичного химического обессоливания воды заданного состава.

Приведём расчет технологических показателей воды из разных источников и сравнение этих показателей до и после очистки. Образцы проб воды, подлежащие исследованию, приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Исходные данные

Источник	Место отбора пробы	Содержание ионов и оксидов, мг/л				
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
р. Воронеж	г. Липецк	72,2	17,4	280,6	33,5	10
р. Дон	г. Задонск	53,9	29,4	293,5	48,2	5
р. Дон	г. Ростов-на-Дону	13,4	2,5	42,7	4,2	3

Автоматизированный расчет и анализ технологических показателей воды выполним с помощью программного обеспечения MS EXCEL. Это позволит значительно сократить рутинные расчеты, повысить точность вычислений и визуально представить результаты сравнительного анализа различных проб воды.

Первым этапом является проверка соблюдения правила электронейтральности:

$$\sum_{K=1}^n C_{Km} = \sum_{A=1}^n C_{An},$$

где C_{Km} , C_{An} – эквивалентные концентрации катионов и анионов.

Для этого определим величину ошибки x по формуле:

$$x = \frac{\sum C_{Km} - \sum C_{An}}{\sum C_{Km} + \sum C_{An}} * 100\%.$$

Если ошибка не будет превышать 1%, то химический состав воды определен верно.

Рассчитаем эквивалентные концентрации ионов:

$$C_{\text{э}} = \frac{C_{\text{об}}}{\text{э}},$$

где $C_{\text{об}}$ – объемная концентрация, мг/л. Для этого сначала найдём эквивалент каждого иона по формуле $\text{э} = \frac{M}{n}$, где M – молярная масса иона, г/моль, n – валентность иона.

На рабочий лист введём формулы для расчёта показателей (рис. 1). В ячейке D2 рассчитаем эквивалент иона Ca: =B2/C2.

D2		fx =B2/C2		
	A	B	C	D
1	Название иона	Молярная масса(M)	Валентность (n)	Эквивалент (э)
2	Ca+	40	2	20
3	Mg	24,3	2	12,15
4	HCO3	61	1	61
5	SO4	96	2	48
6	Cl	35,5	1	35,5

Рисунок 1– Расчет эквивалента ионов

После копирования формулы в диапазон ячеек D3:D6, автоматически происходит расчет эквивалента оставшихся ионов.

Далее рассчитаем показатели эквивалентных концентраций $C_{\text{э}1}$, $C_{\text{э}2}$, $C_{\text{э}3}$ для каждой отобранной пробы (рис.2). Для этого используем значение $C_{\text{об}}$ из таблицы исходных данных и рассчитываем, используя в качестве базовых формулы:

- в ячейке F2: = B2/E2;
- в ячейке G2: = C2/E2;
- в ячейке H2: = D2/E2.

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
1	Название иона	Объемная конц. (C _{об1})	Объемная конц. (C _{об2})	Объемная конц. (C _{об3})	Эквива лент(Э)	Эквив. конц. (C _{э1})	Эквив. конц. (C _{э2})	Эквив. конц. (C _{э3})
2	Ca+	72,2	53,9	13,4	20	3,61	2,70	0,67
3	Mg +	17,4	29,4	2,5	12,15	1,43	2,42	0,21
4	HCO ₃ ⁻	280,6	293,5	42,7	61	4,60	4,81	0,70
5	SO ₄ ⁻	33,5	48,2	4,2	48	0,70	1,00	0,09
6	Cl ⁻	10	5	3	35,5	0,28	0,14	0,08

Рисунок 2 – Расчет эквивалентных концентраций

Для того чтобы проверить соблюдается ли правило электронейтральности для каждой пробы воды, применяем следующие формулы для расчёта ошибки измерения X₁, X₂, X₃ (рис.3):

E2		= (ABS(СУММ(B2:B3)-СУММ(B4:B6)))/(СУММ(B2:B3)+СУММ(B4:B6))*100						
	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
1	Название иона	Эквив. конц. (C _{э1})	Эквив. конц. (C _{э2})	Эквив. конц. (C _{э3})	X ₁	X ₂	X ₃	
2	Ca	3,61	2,70	0,67	5,06	7,60	0,21	
3	Mg	1,43	2,42	0,21				
4	HCO ₃	4,60	4,81	0,70				
5	SO ₄	0,70	1,00	0,09				
6	Cl	0,28	0,14	0,08				
7								
8								

Рисунок 3 – Расчет ошибки измерения

- в ячейке E2:
=(ABS(СУММ(B2:B3)-СУММ(B4:B6)))/(СУММ(B2:B3)+СУММ(B4:B6))*100;
- в ячейке F2:
=(ABS(СУММ(C2:C3)-СУММ(C4:C6)))/(СУММ(C2:C3)+СУММ(C4:C6))*100;
- в ячейке G2:
=(ABS(СУММ(D2:D3)-СУММ(D4:D6)))/(СУММ(D2:D3)+СУММ(D4:D6))*100.

Как видно из результатов расчетов, ошибка первых двух проб X₁ и X₂ превышает 1%. Следовательно, мы можем судить о том, что химический анализ воды был произведен неправильно и следует его повторить.

Для пробы, у которой правило электронейтральности соблюдается, то есть значение X₃=0,21 – определим технологические показатели качества воды.

Аналитическая общая жесткость воды Ж₀^{исх} (мг – экв/л) вычисляется в ячейке C2: = СУММ (B2:B3).

Общая щелочность Ш₀ равна: Ш₀^{исх} = C_{HCO₃⁻}^{исх} = 0,7 мг – экв/л.

Карбонатная жесткость Ж_к: т.к. Ш₀ < Ж₀, то

$$C_{HCO_3}^{исх} = Ж_{к}^{исх} = Ш_0^{исх} = 0,7 \text{ мг – экв/л.}$$

Некарбонатная жесткость Ж_{нк}^{исх} рассчитывается в ячейке F2: = C2–D2.

Солесодержание исходной воды C/C, мг/л в ячейке H2:

$$= \text{СУММ (G2:G3)+СУММ (G4:G6)}.$$

Исходное содержание CO₂^{исх} определяем по формуле в ячейке I2:

$$= 0,268*(D2)^{1/3}.$$

Результаты вычислений технологических показателей пробы воды до очистки представлены на рисунке 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Название иона	C _{зз}	Ж (общ.)	Щ (общ.)	Ж (карб.)	Ж (некарб.)	Соб 3	C/C	C (CO ₂)
2	Ca	0,67	0,88	0,7	0,7	0,18	13,4	65,8	0,09
3	Mg	0,21					2,5		
4	HCO ₃	0,70					42,7		
5	SO ₄	0,09					4,2		
6	Cl	0,08					3		

Рисунок 4 – Расчет технологических показателей пробы воды до очистки

При выборе схемы очистки воды необходимо иметь в виду, что известкование применяется при обработке воды с $Жк \geq 2$ мг – экв/л. Так как по результатам расчета $Жк^{иск} = 0,7 \frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$, то известкование воды в данном случае не применяется.

Рассмотрим очистку воды коагуляцией в осветлителях, фильтрование на осветительных фильтрах. В качестве коагулянта используется сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$.

Рассчитаем показатели качества коагулированной воды.

Жёсткость воды $Ж^{коаг}$:

$$Ж^{коаг} = Ж(\text{карб.}) - D_k \left(\text{мг} - \frac{\text{ЭКВ}}{\text{дм}^3} \right),$$

где D_k – доза коагулянта, принимаем $D_k = 0,5 \frac{\text{мг-ЭКВ}}{\text{дм}^3}$ (ячейка J2).

Вычисляем значение жесткости в ячейке K2: = E2-J2.

Значение Ж (некарб. коаг.) = $Ж(\text{карб.}) + D_k \left(\text{мг} - \frac{\text{ЭКВ}}{\text{дм}^3} \right)$ рассчитывается в ячейке L2: = F2+J2.

Щелочность остаточная $Щ_0^{коаг} \left(\frac{\text{мг-ЭКВ}}{\text{дм}^3} \right)$:

$$Щ_0^{коаг} = C_{HCO_2} = Ж^{коаг} = 0,2 \frac{\text{мг-ЭКВ}}{\text{дм}^3}.$$

Концентрацию $C(CO_2)_{коаг}$, мг/л получаем в N2: = H2+44*J2.

Результаты расчетов технологических показателей пробы воды после очистки показаны на рис.5.

	J	K	L	M	N	O
1	D_k	Ж(карб.коаг.)	Ж(некарб.коаг.)	Щ (общ. коаг)	C(CO ₂)	
2	0,5	0,2	0,68	0,2	22,09	
3						
4						

Рисунок 5 – Расчет технологических показателей пробы воды после очистки

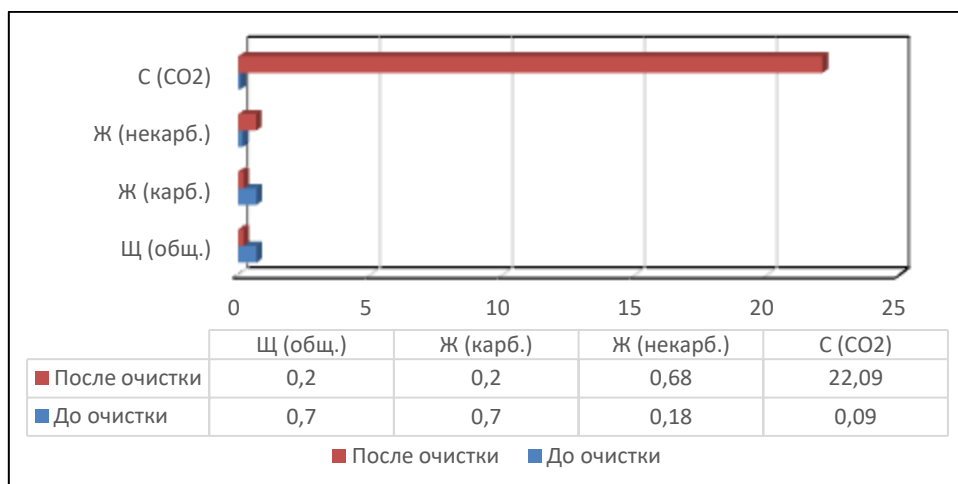


Рисунок 6 – Диаграмма сравнения показателей воды

Для сравнения технологических показателей воды до и после очистки по результатам расчётов построим диаграмму (рис. 6).

В результате работы был произведен расчет технологических показателей воды из разных источников. На диаграмме сравнения видно, что после очистки общая щелочность и карбонатная жесткость уменьшились в несколько раз, следовательно, вода стала более пригодна для использования в паровых котлах.

1. Методические указания к расчетному заданию по курсу «Водоподготовка и водно-солевые режимы энергетических установок», Шацких Ю.В., Липецк, ЛГТУ, 2005 г.
2. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. М., Энергоатомиздат, 1991 г.
3. Лившиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. М., «Энергия», 1976 г.

Чернышов Б.А., Чопоров О.Н.

Рейтинговое управление повышением конкурентоспособности объектов организационных систем на основе оптимизации ресурсной поддержки

*АНОО ВО Воронежский институт высоких технологий
(Россия, Воронеж)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-05

ids: sciencerrussia-10-02-2020-05

Аннотация

Рассматриваются механизмы и модели рейтингового управления, направленного на оптимальное распределение ресурсного обеспечения объектом организационных систем. Одним из основных критериев эффективности рейтингового управления является обеспечение конкурентоспособности объектов-лидеров среди аналогичных объектов. Особо значимым в решении этой проблемы является управление продвижением российских научно-образовательных центров на международном уровне. Предложена схема оптимизации рейтингового управления в группе объектов-лидеров с учетом динамики изменения их состояния. Основой распределения обеспечения является разделение объектов на три группы с восходящим, ускоренно инерционным и умеренно инерционным трендами развития.

Ключевые слова: рейтинговое управление, организационная система, конкурентоспособность, ресурсное обеспечение, оптимизация.

Abstract

The article deals with some approaches and models of ranking management, aimed at the optimal distribution of resource maintenance for the objects of organizational systems. One of the essential criteria of the ranking management effectiveness is to ensure the competitiveness for leaders among the similar leaders. The major thing in solving this problem is managing the promotion of Russian research and educational centres at the international level. The authors offer a block diagram of the ranking management optimization in a group of leaders based on the evolution of their status. The basis for the distribution of resource maintenance is the division of the objects into three groups with upward, accelerated inertial and moderately inertial development trends.

Keywords: ranking management, organizational system, competitiveness, resource maintenance, optimization.

В работе рассматривается класс организационных систем социально-экономической направленности (образование, здравоохранение, банковский сектор,

промышленные объединения), для которых характерно наличие управляющего центра, объединяющего совокупность объектов, однородных по видам основной деятельности. Управляющий центр осуществляет взаимодействие с объектами по целому ряду проблем, связанных с достижением цели эффективного функционирования системы как организационного целого. В дальнейшем остановимся на одной из ключевых проблем – ресурсное обеспечение реализации всех видов основной деятельности и развития однородных объектов, входящих в систему. Выделяя объектам ресурсное обеспечение, управляющий центр оценивает эффективность его использования по набору показателей путем мониторинга с определенной периодичностью. Наличие большого числа показателей приводит к сложности и трудоемкости процесса принятия управленческих решений [1]. Естественным способом снижения трудоемкости и повышения надежности принятия решений является переход к интегральной комплексной оценке. Наибольшее распространение в практике управления социально-экономическими системами приобретает комплексная оценка в виде рейтинга [2].

Управление на основе внутреннего и внешнего рейтингового оценивания (рейтинговое управление) обеспечивается определенной последовательностью взаимодействия управляющего центра с объектами организационных систем. В первую очередь управляющий центр организует мониторинг эффективности деятельности объектов по показателям $y_{im}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}$ [3], затем выбирает для каждого направления основной деятельности $n = \overline{1, N}$ набор показателей a_{ij} для вычисления значения внутренних рейтинговых оценок $r_{in}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$, с учетом которых определяется объем ресурсного обеспечения V_{in}^0 , ориентированных на потребности i -го объекта в ресурсе \hat{V}_{in}^0 . Одновременно формируется множество объектов $i^1 = \overline{1, I^1}$, участвующих в распределении дополнительного ресурсного обеспечения V^g для улучшения тематических и интегральной внешних рейтинговых оценок $r_{i^1 l}, r_{i^1}$ с объемами $V_{i^1}^g$. Далее путем согласования интересов управляющего центра и объектов в распределении ресурсного обеспечения V_n^0 определяются оптимальные значения объемных показателей результатов деятельности объектов при их взаимодействии с потребителями $x_{in}^*, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$ и окончательно устанавливается ресурсное обеспечение основной деятельности и развития – $V_i^0, V_i^p, i = \overline{1, I}$.

На заключительном этапе ресурсное обеспечение $V_{i^1}^p$ распределяется на изменения значений тех показателей эффективности деятельности $y_{i^1 m}$ объектов $O_{i^1}, i^1 = \overline{1, I^1}$ в объеме $V_{i^1 m l}$, которое приводит к долгосрочному изменению состояния по переходу на более высокую позицию по внешним рейтинговым оценкам $r_{i^1 l}, r_{i^1}, i^1 = \overline{1, I^1}, l = \overline{1, L}$ с заданным периодом перспективного планирования.

Итогом рейтингового управления является формирование объемов ресурсного обеспечения каждого объекта, включающего две составляющие: реализация направлений основной деятельности и развитие, направленное на изменение состояния объекта в рейтинговых метриках. Особое место среди объектов организационной системы, управленческие действия администрации которых ориентированы на активизацию режима развития, занимают объекты, потенциально готовые к повышению своей конкурентоспособности среди аналогичных объектов других организационных систем по результатам внешнего рейтингового оценивания (объекты-лидеры $O_{i^1}, i^1 = \overline{1, I^1}$).

Поскольку дополнительное ресурсное обеспечение выделяется на определенное число календарных сроков, первичное распределение необходимо корректировать на последующие сроки с учетом динамики изменения состояния объектов-лидеров. В этом случае управляющий центр представляет возможность объектам проявить свой потенциал в течение определенного числа календарных сроков и наблюдает по внешним рейтинговым оценкам динамику изменению. На основе этих наблюдений на

экспертном уровне удастся провести кластеризации объектов и сформировать распределение ресурсного обеспечения с учетом особенностей динамики улучшения рейтинговых оценок в каждом кластере [4].

При этом периоде развития с календарными сроками $t_1 = \overline{1, T_1}$ предшествует период пассивного наблюдения результатов внешнего рейтингового оценивания с календарными сроками $t = \overline{1, T}$.

Первое распределение ресурсного обеспечения заданного управляющим центром на первый календарный срок периода развития $t_1 = 1$ определяется на основе рейтинговых оценок $r_i(T)$ в последний календарный срок пассивного наблюдения.

Последующее распределение $V^g(t_1), t_1 = \overline{2, T_1}$ предлагается осуществить с учетом динамики изменения состояния объектов $O_{i_1}, i_1 = \overline{1, I_1}$ по величине рейтинговой оценки $r_i(t_1), t_1 = \overline{2, T_1}$ и разбиения на экспертном уровне всего периода $t_1 = \overline{1, T_1}$ на два подпериода: инерционного развития $t_1 = \overline{1, T_1'}$ и ускоренного развития $t_1 = \overline{T_1' + 1, T_1}$. В этом случае значения $V_{i_1}^g(t_1), t_1 = \overline{2, T_1'}$ будут определяться в соответствии с процедурой экспертного выбора [5]. Определение значений $V_{i_1}^g(t_1), t_1 = \overline{T_1' + 1, T_1}$ свяжем с разделением нумерационного множества объектов-лидеров на три подмножества:

$i_1 = \overline{1, I_1'}, I_1' < I_1$ – объектов, характеризующихся восходящим трендом развития, обусловленным переходом в более высокий рейтинговый кластер;

$i_1 = \overline{I_1' + 1, I_1''}, I_1, I_1'' > I_1'$ – объектов, характеризующихся ускоренно инерционным трендом развития, обусловленным существенным улучшением позиции в рамках определенного рейтингового кластера;

$i_1 = \overline{I_1'' + 1, I_1}$ – объектов, характеризующихся умеренно инерционным трендом развития, обусловленным незначительным улучшением позиции в рамках определенного рейтингового кластера.

Эксперты, в том числе доминирующий [5] предлагают $w_g, g = \overline{1, G}$ вариантов распределения объектов $O_{i_1}, i_1 = \overline{1, I_1}$ в три подмножества.

Будем считать, что распределение $V^g(t_1), t_1 = \overline{T_1' + 1, T_1}$ осуществляется на двух уровнях:

- подмножеств объектов-лидеров;
- объектов внутри каждого подмножества.

Пусть на первом уровне распределение осуществляется следующим образом:

$$\begin{aligned} V_1^g(t_1) &= \alpha_1(t_1)V^g(t_1), \\ V_2^g(t_1) &= \alpha_2(t_1)V^g(t_1), \\ V_3^g(t_1) &= \alpha_3(t_1)V^g(t_1), \end{aligned} \tag{1}$$

где

$$\alpha_1(t) + \alpha_2(t) + \alpha_3(t) = 1, \alpha_1(t) > 0, \alpha_2(t) > 0, \alpha_3(t) > 0 \tag{2}$$

- коэффициенты распределения ресурсного обеспечения на уровне подмножеств объектов-лидеров;

V_1^g, V_2^g, V_3^g – дополнительное ресурсное обеспечение, выделяемое управляющим центром для изменения состояния объектов, которые вошли соответственно в первое, второе и третье подмножества.

На втором уровне примем равномерную схему распределения:

$$V_{i_1}^g(t_1) = \frac{V_1^g(t_1)}{I_1'}, i_1 = \overline{1, I_1'} \tag{3}$$

$$V_{i_1}^g(t_1) = \frac{V_2^g(t_1)}{I_1'' - I_1'}, i_1 = \overline{I_1' + 1, I_1''},$$

$$V_{i_1}^g(t_1) = \frac{V_3^g(t_1)}{I_1 - I_1''}, i_1 = \overline{I_1'' + 1, I_1}.$$

С целью учета динамики изменения состояния объектов $O_{i_1}, i_1 = \overline{1, I_1}$ сформируем следующие выборки, включающие период инерционного развития

$$r_{i_1}(1), \dots, r_{i_1}(t_1), \dots, r_{i_1}(T_1'), \quad (4)$$

$$V_{i_1}^g(1), \dots, V_{i_1}^g(t_1), \dots, V_{i_1}^g(T_1), \quad (5)$$

Используя выборки (4), (5), построим модель регрессии

$$r_{i_1} = \gamma_{i_1}(V_{i_1}^g, t). \quad (6)$$

Сформируем задачу оптимизации дополнительного ресурсного обеспечения для периода ускоренного развития следующим образом: необходимо для каждого календарного срока $t_1 = \overline{I_1' + 1, T_1}$ минимизировать сумму рейтинговых оценок $r_{i_1}(t_1)$, что будет определять изменения состояния объектов $O_{i_1}, i_1 = \overline{1, I_1}$ в соответствии с требованиями, характеризующими их принадлежность нумерационным подмножествам $i_1 = \overline{1, I_1'}, i_1 = \overline{1, I_1' + 1, I_1''}, i_1 = \overline{I_1'' + 1, I_1}$, чтобы выполнялось условие (1). Оптимизируемыми переменными в этом случае будут величины $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. Для формализованной записи критерия оптимизации через эти переменные подставим выражения (1), (2) в модели регрессии (6) при фиксированном значении календарного срока (t_1)

$$\begin{aligned} r_{i_1} &= Y_{i_1} \left(\frac{\alpha_1 V^g}{I_1'} \right), i_1 = \overline{1, I_1'}, \\ r_{i_1} &= Y_{i_1} \left(\frac{\alpha_2 V^g}{I_1'' - I_1'} \right), i_1 = \overline{I_1' + 1, I_1''}, \\ r_{i_1} &= Y_{i_1} \left(\frac{\alpha_3 V^g}{I_1 - I_1''} \right), i_1 = \overline{I_1'' + 1, I_1}. \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом (7) и условия (3.2) имеем следующую задачу оптимизации

$$\begin{aligned} \sum_{i_1=1}^{I_1'} Y_{i_1} \left(\frac{\alpha_1 V^g}{I_1'} \right) + \sum_{i_1=I_1'+1}^{I_1''} Y_{i_1} \left(\frac{\alpha_2 V^g}{I_1'' - I_1'} \right) + \sum_{i_1=I_1''+1}^{I_1} Y_{i_1} \left(\frac{\alpha_3 V^g}{I_1 - I_1''} \right) \rightarrow \min, \\ \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1, \\ \alpha_1 \geq \hat{\alpha}, \alpha_2 \geq \hat{\alpha}, \alpha_3 \geq \hat{\alpha}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\hat{\alpha}$ – порог, устанавливаемый экспертами управляющего центра, обеспечивающий дополнительное ресурсное обеспечение объектам, принадлежащим всем трем нумерационным подмножествам.

Задача (8) является задачей нелинейного программирования с линейным ограничением типа равенство [6].

На основании оптимального решения этой задачи $\alpha_1^*, \alpha_2^*, \alpha_3^*$ вычисляем оптимальные объемы дополнительного ресурсного обеспечения в группе объектов-лидеров для каждого календарного срока периода ускоренного развития $t_1 = \overline{I_1' + 1, T_1}$:

$$V_{i_1}^{g*}(t_1), i_1 = \overline{1, I_1'}; V_{i_1}^{g*}(t_1), i_1 = \overline{I_1' + 1, I_1''}; V_{i_1}^{g*}(t_1), i_1 = \overline{I_1'' + 1, I_1} \quad (9)$$

Управляющий центр устанавливает объектам O_{i_1} дополнительное ресурсное обеспечение на очередной календарный срок периода ускоренного развития в объеме (9), который определен с учетом динамики изменения состояния каждого объекта, входящего в группу лидеров.

Структурная схема оптимизации распределения дополнительного ресурсного обеспечения в группе объектов-лидеров с учетом динамики изменения их состояния приведена на рисунке.

1. Дуканич В.В. Рейтинговое управление экономическими системами и процессами: концепция и некоторые результаты применения/В.В.Дуканич, А.С.Тимченко//Экономический вестник Ростовского государственного университета.–2005.–Т.3.–№№.–С.83-91.
 2. Витминский В.В. Анализ, оценка и моделирование экономического рейтинга.–К.:ДЕМИУР,2006.– 216 с.
 3. Зернов В.А. Критерии мониторинга как эффективный инструмент повышения конкурентоспособности отечественного образования//Проблемы теории и практики управления.–2014.–№4.–С.8-11.
 4. Брызгунов П.И. Управление социально-экономическим положением промышленного региона на основе информационного мониторинга показателей безопасного развития/П.И.Брызгунов, Д.Е.Федорков.–Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999.–73 с.
 5. Львович Я.Е.Принятие решений в экспертно-виртуальной среде/Я.Е.Львович, И.Я.Львович.–Воронеж: ИПЦ «Научная книга».–2010.–140 с.
 6. Львович И.Я. Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения/И.Я.Львович, Я.Е.Львович, В.Н.Фролов.–Воронеж: ИПЦ «Научная книга».–2016.–444 с.
-

РАЗДЕЛ III. КОСМОС И АВИАЦИЯ

Мусин С.М.¹, Волынский В.Ю.²

Компетенции специалиста органа аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте

¹Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации

²ЧОУ ДПО научно-учебный центр «Авиационная безопасность и новая техника»
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-06

idsp: sciencerussia-10-02-2020-06

Аннотация

Силы обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте проходят дополнительную подготовку и регулярно проходят подготовку по повышению уровня профессиональной компетентности. Аттестация персонала сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте проходит в органе аттестации, аккредитованном на данный вид деятельности. Представляется, что при организации и проведении аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте необходимо применение методов самооценки степени компетентности специалиста органа аттестации при самоподготовке, учета полученных оценок при коррекции общей оценки аттестуемого относительно специалиста органа аттестации, в процессе аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте.

Ключевые слова: компетентностный подход, компетенция, профессиональные компетенции, силы транспортной безопасности на воздушном транспорте, подготовка сил транспортной безопасности на воздушном транспорте, программа подготовки сил обеспечения транспортной безопасности.

Возросшая террористическая деятельность на воздушном транспорте в условиях экономических санкций против России со стороны западных стран выявила проблему повышения транспортной безопасности на воздушном транспорте. Увеличилось число «угонов» и попыток «угонов» воздушных судов России в другие страны, возрос «телефонный» терроризм. Акты воздушного терроризма и незаконные вмешательства в целом представляют повышенную социальную опасность. Они посягают на жизнь и здоровье людей, на собственность, грубейшим образом нарушают международное право, государственный суверенитет, обостряют международные отношения. Борьба с воздушным терроризмом и незаконными вмешательствами в целом остается одной из важных задач любого государства и его долгом по отношению к мировому сообществу [1].

Функциональная способность сил транспортной безопасности формируется при их периодической переподготовке и повышении квалификации, а их функциональное качество оценивается при аттестации.

Анализ теоретических аспектов и сложившегося опыта оценки качества подготовки специалиста в системе дополнительного профессионального образования по программе авиационная безопасность позволил выявить ряд противоречий в практике оценки качества подготовки.

Противоречие между необходимостью выявления соответствия реально достигнутых результатов подготовки в виде сформированных компетенций личностным ожиданиям специалиста сил обеспечения транспортной безопасности и

отсутствием показателя самооценки специалиста органа аттестации в системе оценки приобретенных знаний, умений и навыков специалистом сил обеспечения транспортной безопасности сопровождается неадекватной итоговой оценкой и допуском к работе некомпетентных лиц, снижает эффективность сил по обеспечению транспортной безопасности.

Актуальность показателей компетентности для системы внутренней оценки качества подготовки сил обеспечения транспортной безопасности объясняется ростом требований к качеству подготовки со стороны обучающихся, который связан с их ценностно-смысловым отношением и глубокой личностной заинтересованностью в успешном использовании в профессиональной деятельности полученных компетенций.

Содержание аттестации значительно влияет на расстановку сил и средств при обеспечении транспортной безопасности на воздушном транспорте относительно эффективности их деятельности [1].

Представляет значительный интерес научная задача, связанная с разработкой эффективных методов, алгоритмов и программ для корректировки оценок знаний, умений и навыков аттестуемого по личностной самооценке и ремнантности специалиста органа аттестации, базирующихся на современных вычислительных методологиях семантического анализа и экспертных систем. Решение этой задачи позволит сформировать и поддерживать компетенцию специалиста органа аттестации на должном уровне, совершенствовать содержание программ по приобретению знаний, навыков и умений при переподготовке и повышении квалификации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте.

Исследуемая проблема относится к сфере анализа информации, и она порождена противоречием между оценками детерминированных, нечетких и субъективных данных, сформированности компетенций. Следовательно, объектом данного исследования является силы обеспечения транспортной безопасности (показатели компетентности), а предметом - методы оценки и анализа сформированности компетенций специалистов сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте. Сформулированные цель, объект и предмет исследования определяют содержательную постановку задачи исследования.

При заданном составе задач, решаемых силами обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте, требованиях к количеству и качеству исходных данных для их решения, объективности и субъективности оценок компетенций необходимо разработать методику оценки знаний, умений и навыков в области обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте, позволяющей допускать к деятельности силы обеспечения транспортной безопасности, способные своевременно предупреждать и ликвидировать последствия террористических, техногенных, геофизических и биологических угроз.

Для достижения сформулированной цели исследования необходимо решить следующие взаимосвязанные научные задачи:

- провести общий анализ множеств угроз, методов их идентификации и связи с профессиональной компетенции сил обеспечения транспортной безопасности;
- разработать методику оценки профессиональной компетенции при аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте на основе применения семантических моделей как формализованного описания компетенций и угроз;

- развить автоматизированную систему исходных данных по самооценке и ремнантности специалистов органов аттестации с дружественным интерфейсом;
- разработать логические, семантические и арифметические алгоритмы функционирования органов аттестации, упорядочить их в виде лексикографического порядка и программ в сформированной базе знаний;
- выбрать, обосновать и сформировать систему показателей самооценки и ремнантности специалистов органов аттестации;
- разработать методику самооценки и ремнантности специалистов органов аттестации;
- провести вычислительный эксперимент по получению оценок уровня компетенции сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте с учетом самооценки и ремнантности специалистов органов аттестации.

Для достижения поставленной цели и проверки гипотез были выделены следующие задачи. Во-первых, выявить ключевые компетенции специалиста органа аттестации, классифицировать их и сформировать когнитивную карту значимости профессиональных компетенций специалиста органа аттестации.

Оценка сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте, на основании которой принимается решение о допуске или не допуске деятельности, определяем на основе семантических свойств [3, 4], которые включают: связи типа часть, класс, множество, функциональные связи, количественные и качественные соотношения, пространственные соотношения, временные соотношения, атрибутивные и логические.

Оценку компетенций аттестуемого выражаем в виде высказывания:

$$\begin{aligned} & \text{мера вида } O_i \\ & \text{оценка вида } M_i \\ & \text{режим работы вида } R_i \\ & \text{орган аттестации вида } A_i. \end{aligned} \quad (1)$$

Логическая формула оценки имеет вид

$$\Phi = \langle O_i, M_i, R_i, A_i, \delta_i \rangle, \quad (2)$$

где $O_i = \{ \text{"допущен"}, \text{"не допущен"} \}$,

$M_i = \{ \text{"двух балльная шкала 0, 1"}, \text{"трех балльная шкала 0, 5, 10"}, \text{"трех балльная шкала 0, 10, 20"} \}$,

$R_i = \{ \text{"законодательство"}, \text{"организация работы"}, \text{"функционирование (работа)"}, \text{"делопроизводство"}, \text{"организация и контроль безопасности функционирования"} \}$,

$A_i = \{ \text{"самооценка"}, \text{"ремнантность"} \}$,

$\delta = \{ \delta_i \} = \{ \text{"письменный (компьютерный) тест"}, \text{"тематический тест"}, \text{"практическая задача"} \}$.

Процесс аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте гражданской авиации рассматриваем с позиций их функционирования в сложной авиационной системе антропологического типа.

В ходе проверки знаний, умений и навыков аттестуемому лицу необходимо [5]: ответить на три тематических вопроса и решить две практические задачи, содержащиеся в билетах; пройти письменный (компьютерный) тест, содержащий не менее 50 вопросов с четырьмя и более многовариантными ответами.

Оценка знаний, умений, навыков аттестуемых лиц проводится в следующем порядке:

- за каждый правильный ответ на вопрос в форме теста аттестуемое лицо получает 1 балл, за неправильный ответ или отсутствие ответа 0 баллов;

- за каждый ответ на тематический вопрос аттестуемое лицо получает 10 либо 5, либо 0 баллов в зависимости от ответа аттестуемого лица на вопрос;
- за решение одной практической задачи аттестуемое лицо получает 20 либо 10, либо 0 баллов в зависимости от решения аттестуемым лицом практической задачи.

Таким образом, максимальное количество баллов имеет значение 120. Знания, умения, навыки аттестуемого лица, получившего суммарно менее 85 баллов, считаются не соответствующими требованиям законодательства Российской Федерации о транспортной безопасности.

При анализе ситуаций в условиях поведенческой неопределенности специалистов органов аттестации используем принцип Гурвица [3].

Принцип Гурвица характеризуется некоторым балансом между наихудшим и наилучшим для стратегии выбором. Согласно принципу Гурвица лучшей следует считать ту стратегию a^* , которая приводит к наибольшему значению линейной свертки наихудшего и наилучшего, то есть

$$a^* : \max_a [\gamma \cdot \min_s y(a, s) + (1 - \gamma) \cdot \max_s y(a, s)]. \quad (3)$$

γ - коэффициент ориентации стратегии, $0 \leq \gamma \leq 1$,

$y(a, s)$ – стратегия выбора.

Принцип Гурвица может не идентифицировать явно различающиеся по предпочтительности альтернативы. Для устранения недостатка принцип Гурвица модифицируют таким образом, что помимо крайних по предпочтительности значений результата в нем фигурируют и промежуточные результаты при оценке альтернативы.

Формализация самооценки специалиста органа аттестации

Нормирование и сопоставимые значения показателей различных компетенций (табл. 1) множества специалистов органов аттестации определяем по формуле [2]:

$$Y_i^j = \frac{P_i^j - \min P_i^j}{\max P_i^j - \min P_i^j}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad (4)$$

где Y_i^j - приведенное значение i -й компетенции j -го специалиста из множества органов аттестации J ;

P_i^j - количественное значение i -й компетенции j -го специалиста;

$\min P_i^j$ - минимальное количественное значение i -й компетенции j -го специалиста;

$\max P_i^j$ - максимальное количественное значение i -й компетенции j -го специалиста;

n - количество оцениваемых компетенций;

J – количество органов аттестации.

Данное нормированное значение сопоставляемых компетенций выражает в безразмерной форме относительный уровень Y i -й компетенции относительно наибольшего значения данного свойства соответствующего j -го специалиста.

В соответствии с (4) шкала отношений для оценки компетенций сформирована на основе следующих суждений:

- количественное значение баллов равно $B = \text{int} \left(\frac{1}{Y_i^j} \right)^k$
- показатель степени k , характеризующий значимость (предпочтительность) балла в общей самооценке специалиста органа аттестации (ИСО Р 497: $k=1,5849 \approx 1,6$ – ряд R5);
- минимальное количество баллов для допуска специалиста сил обеспечения транспортной безопасности составляет 85 баллов [5],

- максимальное количество баллов для допуска специалиста сил обеспечения транспортной безопасности составляет 120 баллов;
- ошибка (инженерная) принятия решения составляет 15...20%.

Таблица 1

Когнитивная карта значимости профессиональных компетенций специалиста органа аттестации

Компетенции специалиста органа аттестации/альтернативы (тест/тематический вопрос/практическая задача)	Оценка			Критерий
	самооценка	руководитель	коллега	Гурвица
<i>Компетенции, имеющие высокую значимость</i>				
1. Умение оценивать функционал сотрудников и подразделений сил обеспечения транспортной безопасности				
2. Знание процедуры аттестации и умение вести аттестационное делопроизводство				
3. Владение навыками разработки локальных нормативных актов				
4. Знание основ найма, разработки и внедрения программ и процедур подбора и отбора специалистов сил обеспечения транспортной безопасности				
5. Знание требований и владение навыками по обеспечению защиты персональных данных специалистов сил обеспечения транспортной безопасности				
6. Приверженность этическим ценностям: уважение человеческого достоинства, честность, открытость, справедливость, порядочность, терпимость, интернационализм				
<i>Компетенции, имеющие низкую значимость</i>				
1. Знание основ современной философии и концепций управления персоналом, сущности и задач, закономерностей, принципов и методов управления специалистами сил обеспечения транспортной безопасности				
2. Владение одним из иностранных языков на уровне, обеспечивающим эффективную профессиональную деятельность				
3. Владение технологиями управления безопасностью труда сил обеспечения транспортной безопасности				

В результате максимальная оценка ошибки принятия решения специалистами органа аттестации составляет 9 баллов (от очень слабой до значительной).

На основе полученных показателей профессиональной компетенции специалиста органа аттестации формируется шкала поправок общей оценки аттестуемого. Шкала поправок является симметричной относительно нулевого уровня при коррекции общей оценки аттестуемого и имеет знак относительно этических ценностей: положительный при преобладании пессимистических черт характера, и отрицательный при преобладании оптимистических черт характера.

Выделяем три уровня коррекции.

Нейтральный уровень: когнитивные компетенции определяют качество специалиста органа аттестации как объективного функционального субъекта. Общая оценка аттестуемого специалиста сил обеспечения транспортной безопасности не подлежит коррекции.

Пессимистический уровень: когнитивные компетенции определяют качество специалиста органа аттестации как пессимистического функционального субъекта, склонного к занижению оценок знаний, умений и навыков по складу характера и опыту профессиональной деятельности. Общая оценка аттестуемого специалиста сил обеспечения транспортной безопасности подлежит коррекции в положительном направлении.

Оптимистический уровень: когнитивные компетенции определяют качество специалиста органа аттестации как оптимистического функционального субъекта, склонного к завышению оценок знаний, умений и навыков по складу характера и опыту профессиональной деятельности. Общая оценка аттестуемого специалиста сил обеспечения транспортной безопасности подлежит коррекции в отрицательном направлении.

Вывод. Представляется, что при организации и проведении аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте необходимо применение методов самооценки степени компетентности специалиста органа аттестации при самоподготовке и учета полученных оценок, коррекции общей оценки аттестуемого относительно специалиста органа аттестации, в процессе аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте.

1. Нерадько А.В. Доклад «Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2018 году, основные задачи на 2019 год и среднесрочную перспективу» на итоговой Коллегии 14 марта 2019 года <https://favt.ru>
2. Мусин С.М., Волынский В.Ю. Оценка компетенции специалиста органа аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА, №29(340)/2020. – М.: ФГУП ГосНИИ ГА, 2020. - С. 124-133.
3. Спенсер Л., Спенсер С. Компетенции на работе. Модели максимальной эффективности работы. / пер. с англ. - М.: НИРРО, 2008. - 201 с.
4. Субетто А.И. Квалиметрия. – Вып. 1. – СПб.: ИПЦ СЗИУ – фил. РАНХиГС, 2015. – 244 с.
5. Приказ Минтранса от 21.08.2014 № 231 «Об утверждении Требований к знаниям, умениям, навыкам сил обеспечения транспортной безопасности, личностным (психофизиологическим) качествам, уровню физической подготовки отдельных категорий сил обеспечения транспортной безопасности, включая особенности проверки соответствия знаний, умений, навыков сил обеспечения транспортной безопасности, личностных (психофизиологических) качеств, уровня физической подготовки отдельных категорий сил обеспечения транспортной безопасности применительно к отдельным видам транспорта» // base.garant.ru

РАЗДЕЛ IV. МАТЕМАТИКА

Горский М.А.

Оценка перспектив использования показателя средневзвешенной стоимости капитала при анализе эффективности производственной деятельности предприятий

*Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-07

idsp: sciencerussia-10-02-2020-07

Аннотация

В статье представлены результаты анализа затрат на капитал и эффективности основной производственной деятельности сравнимых по масштабу и отраслевой принадлежности компаний пищевой промышленности. В расчетах использовалась методика оценки средневзвешенной стоимости капитала, предложенная Р. Хамадой, и агрегированная формула расчета показателя WACC, введенная в обращение одним из авторов.

Ключевые слова: пищевая промышленность, средневзвешенная стоимость капитала, модель CAPM, агрегированная формула средневзвешенной стоимости капитала, собственный и заемный капитал, инвестиционная привлекательность, конкурентоспособность по затратам.

Ключевым показателем эффективности производственной сферы предприятия в условиях перехода на стандарты МСФО является средневзвешенная стоимость капитала WACC (англ. Weighted Average Cost of Capital), привлекаемого в финансирование производственных и непроизводственных затрат. Этот показатель корректно характеризует стоимость привлекаемого компанией капитала, а, следовательно, позволяет повысить точность оценок ее денежных потоков и их дисконтированную стоимость [1,2,4,5,6,9,10].

Практика использования показателя средневзвешенной стоимости капитала связана с выбором управленческих решений в сферах производства и инвестиций: предпринимательская организация принимает то или иное решение, если рентабельность производственной или инвестиционной программы соответствует (не ниже) текущего значения характеризующего структуру ее капитала показателя WACC.

Методика расчета показателя средневзвешенной стоимости капитала.

Ниже используется агрегированная формула показателя WACC, приведенная в работах автора [10] и Д.А. Безухова [3] и являющаяся адаптированным для условий современной российской экономики вариантом известной формулы Р. Хамады [12].

Применение этого и аналогичных инструментов расчета средневзвешенной стоимости капитала актуально, если в оценке компании (бизнеса) используется доходный подход - совокупность методов, основанных на определении текущей стоимости компании как совокупности ожидаемых доходов. В рамках доходного дохода средневзвешенная стоимость капитала рассчитывается в соответствии со следующим двухшаговым алгоритмом.

На первом осуществляется оценка стоимости собственного и заемного капитала компании, причем, первая составляющая рассчитывается по модифицированной модели CAPM – модели ценообразования активов -Р. Хамады [12], вторая – с

использованием коэффициента долговой нагрузки и ставки кредитного учреждения, зависящей от ставки рефинансирования.

На втором оценивается структура и средневзвешенная стоимость капитала компании с учетом долей собственного и заемного капитала. Как правило, в различных источниках предлагаются различные формулы и финансовые константы для оценки составляющих средневзвешенной стоимости капитала, недостатком которых можно считать, например: несогласованность расчетных схем, премий, неполный учет налогооблагаемой прибыли и особенностей структуры заемного капитала, способ определения β – коэффициента, показывающего чувствительность и направленность изменения доходности акций компании к доходности рынка.

Указанные недостатки алгоритма расчета WACC можно не принимать во внимание, если использовать агрегированный подход, предлагающий единообразие расчетных формул средневзвешенной стоимости капитала [10].

В рамках этого подхода используется следующая агрегированная формула WACC, на основе которой далее проводятся расчеты затрат на капитал российских и сопоставимых с ними зарубежных компаний пищевой отрасли:

$$WACC = (r_f + \beta \cdot ERP + c_r) \cdot \frac{E}{V} + \left(\frac{Ir}{D}\right) \cdot \frac{D}{V} \cdot (1 - \tau), \quad (1)$$

где: r_f – безрисковая процентная ставка, ERP – (англ. equity risk premium [14])– премия за риск, β – бета-коэффициент (бета-фактор) – показатель волатильности доходности финансового капитала компании по отношению к доходности финансового рынка, c_r – премия за страновой риск [14] (первое слагаемое – стоимость собственного капитала компании, оцененная на основе модифицированной формулы CAPM); $\frac{Ir}{D}$ – оценка затрат на заемный капитал; Ir – выплаты процентов по краткосрочным и долгосрочным обязательствам компании (по данным МСФО компаний); D – стоимость обязательств компании на конец финансового года с учетом затрат на лизинг; $\frac{D}{V}$ – доля заёмного капитала в оборотном капитале; $\frac{E}{V}$ – доля собственного капитала в оборотном капитале; E – рыночная стоимость компании (рыночная капитализация); V – стоимость полного капитала ($D + E$), τ – налоговая ставка на прибыль.

Параметр β отражает систематический отраслевой риск финансового актива в сравнении с рынком в целом и рассчитывается по формуле (в расчетах β для российской компании «Мираторг» использовались показатели индексов РТС и ММВБ (MICEXINDEXCF), для остальных – индексы фондовых рынков, на которых торгуются акции компаний за пятилетний период):

$$\beta = \frac{cov(r_i; r_m)}{\sigma^2}, \quad (2)$$

где: σ – дисперсия доходности среднерыночного портфеля, r_i – доходность базового актива компании.

Ниже в оценках оценки затрат на заемный капитал использован прямой метод [8], который является единственно возможным при отсутствии полного доступа к данным о структуре заемного капитала [7, 10, 11].

Анализ затрат на капитал предприятий пищевой промышленности.

Для анализа отобраны четыре компании этой отрасли одинакового масштаба и доли на рынке готовой продукции из стран: Россия, Корея (Азия), Франция (Европа) и США.

Агропромышленный холдинг «Мираторг» – крупный системообразующий отечественный агропромышленный холдинг, основанный в 1995 г. «Мираторг» – лидер по производству свинины, входит в число крупнейших производителей мяса птицы,

говядины и мясных полуфабрикатов. Основные направления деятельности компании – растениеводство (валовой сбор зерновых и бобовых – около 1 млн. т. в год), производство говядины (40,5 тыс. т. в убойном весе в год), птицеводство (75 тыс. т. мяса цыплят-бройлеров и полуфабрикатов из мяса птицы в убойном весе в год), производство кормов (рассыпные и гранулированные корма для разных возрастных групп животных), свиноводство (более 300 тыс. т. в убойном весе в год), производство полуфабрикатов и готовых блюд (80 тыс. т. в год), производство замороженных овощей и готовых блюд (более 200 наименований). «Мираторг» является поставщиком мясных полуфабрикатов для сетей ресторанов Burger King, McDonald's и Shake Shack.

«Мираторг» является крупнейшим в АПК России получателем государственной помощи как в виде субсидий, так и в виде льготных кредитов. Объем завершенных инвестиций в развитие компании превысил 120 млрд руб. В 2007 г. компания провела IPO на ММВБ. В 2010-м реализовала крупнейший в стране проект по производству высокопродуктивных мясных пород крупного рогатого скота. Заявленная мощность проекта – 130 тыс. т. говядины в год.

В табл. 1 представлены показатели холдинга за 2014 – 2018 гг., на основании которых были произведены расчеты WACC. Оценка собственного капитала компании определена на основании данных Центрального Банка РФ, сайтов Damodaran Online и Investing.com. Стоимость заемного капитала группы определена на конец календарного года как сумма краткосрочных и долгосрочных обязательств, учитывая затраты на лизинг (млн. руб.).

Таблица 1

Расчет WACC агропромышленного холдинга «Мираторг» за 2014-2018 гг.

Расчет стоимости собственного капитала					
Показатель	2018	2017	2016	2015	2014
Безрисковая доходность, r_f	8,30%	9,78%	9,42%	7,25%	7,18%
Бета-коэффициент, β	0,365	0,246	-0,070	0,487	0,236
Премия за риск, ERP	8,25%	9,72%	13,72%	7,63%	7,96%
Страновой риск, c_r	2,56%	3,47%	7,97%	2,63%	2,88%
Стоимость собственного капитала	11,94%	13,87%	15,65%	16,44%	13,59%
Расчет стоимости заемного капитала прямым методом					
Процентные платежи, млн. руб., I_r	2569	2926	3384	3940	4475
Долг, млн. руб., D	68083	85944	35176	32161	17714
Стоимость заемного капитала	13,77%	13,40%	9,62%	12,25%	25,27%
Рыночная капитализация, млн. руб., E	145220	109424	102232	138995	93685
E/V	67,27%	55,18%	72,61%	79,38%	80,85%
D/V	32,73%	44,82%	27,39%	20,62%	19,15%
Налог на прибыль, t	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
WACC	10,32%	9,85%	14,04%	12,81%	13,52%

Примечание: составлено авторами на основании формул (1), (2), а также информации, представленной на официальных сайтах [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21].

«Korea Yakult Co» – корейская компания, основанная в 1969 г. Основная продукция «Korea Yakult Co» -кисломолочные продукты, молоко, лечебные напитки и пищевые добавки, а также диетические продукты. Кисломолочная продукция компании реализуется в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, США, Европе и Южной Америке.

В 2004 г. компания «Korea Yakult Co», ведущая деятельность в Республике Корея и занимающая лидирующие позиции на внутреннем рынке, начала инвестировать средства на производство продуктов быстрого приготовления торговой марки «Доширак» на российском рынке, и в настоящее время в подмосковном городе Раменское на территории в десять гектаров работает завод «КОУА».

Выручка производственной компании "Доширак Коя" в прошлом году выросла на 12,7%, до 2,39 млрд. руб. против 2,12 млрд. руб. в 2017 г. Вторая производственная компания "Доширак Рязань" увеличила выручку на 12,6%, до 1,436 млрд. руб. с 1,275 млрд. руб. в предыдущем году. Торговая компания "Доширак Рус" получила выручку в размере 6,6 млрд. руб., что на 11,8% больше, чем в 2017 г. (5,9 млрд. руб.).

В табл. 2 представлены показатели компании за 2014 – 2018 гг., на основании которых были проведены расчеты WACC.

Таблица 2

Расчет WACC компании «Korea Yakult Co» за 2014-2018 гг.

Расчет стоимости собственного капитала					
Показатель	2018	2017	2016	2015	2014
Безрисковая доходность, r_f	8,43%	7,16%	6,61%	9,85%	8,79%
Бета-коэффициент, β	0,163	0,182	0,127	0,042	0,067
Премия за риск, ERP	9,93%	8,33%	10,79%	8,89%	12,33%
Страновой риск, c_r	0,86%	0,95%	0,90%	0,90%	0,81%
Стоимость собственного капитала	8,47%	8,53%	10,50%	12,50%	12,07%
Расчет стоимости заемного капитала прямым методом					
Процентные платежи, млн. руб., I_r	37868	39488	23278	9958	7297
Долг, млн. руб., D	536715	487895	611521	362065	203098
Стоимость заемного капитала	7,06%	8,09%	3,81%	2,75%	3,59%
Рыночная капитализация, млн. руб., E	1716960	1601760	1447950	1278620	854370
E/V	74,93%	75,23%	69,52%	77,46%	80,24%
D/V	25,07%	24,77%	30,48%	22,54%	19,76%
Налог на прибыль, τ	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
WACC	9,55%	8,81%	7,08%	9,10%	8,92%

Примечание: составлено авторами на основании формул (1), (2), а также информации, представленной на официальных сайтах [13, 14, 15, 16, 18, 22].

Французская компания Danone основана в 1919 г. Danone – глобальная компания, входящая в список крупнейших по рейтингу «Fortune Global 500» и являющаяся одним из самых успешных производителей продуктов здорового питания в мире. Подразделения компании расположены в 140 странах, Danone имеет 190 заводов на пяти континентах. Компания занимает ведущие позиции в четырех областях производства продуктов здорового питания: свежих кисломолочных продуктов, детского питания, бутилированной питьевой воды и медицинского питания. В 2014 году продажи Danone превысили 21 миллиард евро.

Компания успешно функционирует в России с 1992 г. и на данный момент входит в перечень системообразующих предприятий страны. В России расположены 20 заводов, на которых производится продукция одноименного бренда, а также брендов "Активиа", Астимел, "Растишка", "Даниссимо", "Простоквашино", "Віо Баланс", "Актуаль", "Смешарики", "Тёма" и др.

В табл. 3 представлены показатели компании за 2014 – 2018 гг., на основании которых были произведены расчеты WACC.

Таблица 3

Расчет WACC компании «Danone» за 2014-2018 гг.

Расчет стоимости собственного капитала					
Показатель	2018	2017	2016	2015	2014
Безрисковая доходность, r_f	6,66%	3,74%	3,13%	5,49%	9,36%
Бета-коэффициент, β	0,070	0,063	0,101	0,117	0,136
Премия за риск, ERP	5,93%	3,33%	2,79%	4,89%	8,33%
Страновой риск, c_r	3,35%	7,65%	4,65%	3,44%	3,45%
Стоимость собственного капитала	7,80%	9,39%	11,18%	11,14%	8,38%
Расчет стоимости заемного капитала прямым методом					
Процентные платежи, млн. руб., I_r	181675	608465	228670	225940	119080
Долг, млн. руб., D	1452230	1581710	1909700	2080910	2357030
Стоимость заемного капитала	12,51%	38,47%	11,97%	11,14%	8,38%
Рыночная капитализация, млн. руб., E	6111300	4496700	3403400	5538650	6780150
E/V	78,90%	67,25%	61,41%	70,60%	73,25%
D/V	21,10%	32,75%	38,59%	29,40%	26,75%
Налог на прибыль, τ	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
WACC	4,99%	4,24%	3,05%	3,85%	6,12%

Примечание: составлено авторами на основании формул (1), (2), а также информации, представленной на официальных сайтах [13, 14, 15, 16, 18, 23].

Компания Dr. Pepper Snapple Group Company была основана в 1885 г, а в 1891-м г. производство приобрело промышленные масштабы. Уже более 120 лет компания сохраняет за собой лидирующие позиции за счет отлаженной системы дистрибуции и эффективной маркетинговой стратегии. Dr. Pepper – старейший в мире безалкогольный напиток. На протяжении своей истории оставался в топ-10 самых популярных и самых продаваемых безалкогольных напитков в США.

Корпорация Dr. Pepper Snapple Group Company (бывшее название — Cadbury Schweppes Americas Beverages) производит знаменитый газированный напиток Dr. Pepper. Помимо известного бренда компания выпускает и другие газированные и негазированные напитки, чай, миксы, даже пиво. Под этой маркой выпускается Schweppes, A&W Root Beer, Hawaiian Punch, Mott's и другие безалкогольные напитки. Основной рынок сбыта — страны Северной и Латинской Америки.

В табл. 4 представлены показатели компании за 2014 – 2018 гг., на основании которых были произведены расчеты WACC.

Таблица 4

Расчет WACC компании «Dr Pepper Snapple Group Company» за 2014-2018 гг.

Расчет стоимости собственного капитала					
Показатель	2018	2017	2016	2015	2014
Безрисковая доходность, r_f	7,18%	8,30%	9,78%	9,42%	7,25%
Бета-коэффициент, β	0,049	0,100	0,094	0,131	0,084
Премия за риск, ERP	7,96%	8,25%	9,72%	13,72%	7,63%
Страновой риск, c_r	2,88%	2,56%	3,47%	7,97%	2,63%
Стоимость собственного капитала	11,03%	13,40%	15,41%	14,06%	10,74%
Расчет стоимости заемного капитала прямым методом					
Процентные платежи, млн. руб., I_r	889172	631416	1253280	265740	627739
Долг, млн. руб., D	1262133	1603895	2096095	9998800	8345736
Стоимость заемного капитала	26,54%	19,84%	7,73%	5,16%	8,67%
Рыночная капитализация, млн. руб., E	4432814	16335925	45071834	12547053	34461254
E/V	65,2%	50,2%	31,7%	52,8%	67,0%
D/V	34,8%	49,8%	68,3%	47,2%	33,0%
Налог на прибыль, τ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
WACC	5,89%	7,28%	6,56%	4,29%	8,36%

Примечание: составлено авторами на основании формул (1), (2), а также информации, представленной на официальных сайтах [13, 14, 15, 16, 24].

Диаграмма расчетов представлена на рис. 1.

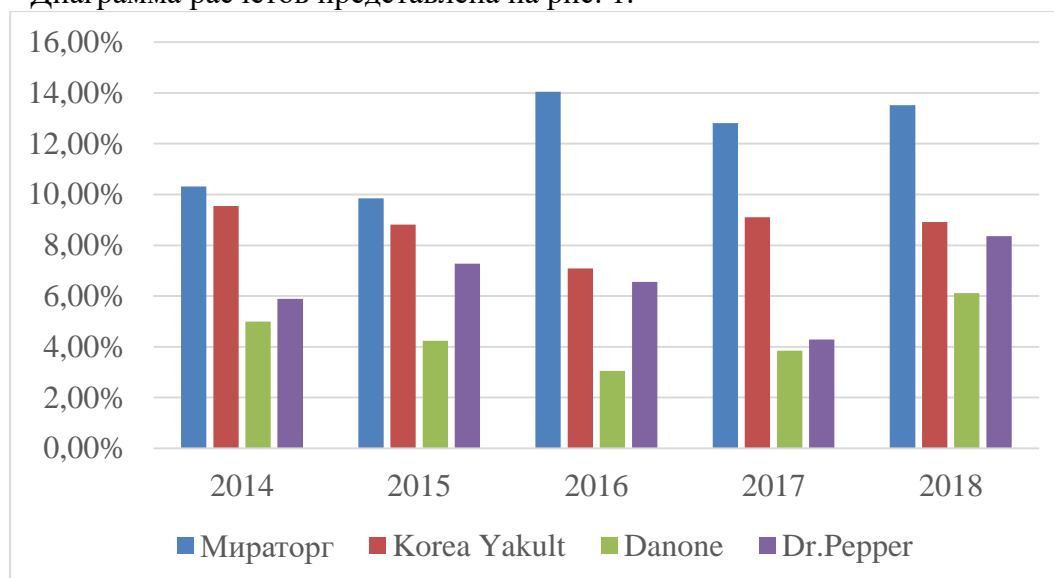


Рис. 1 Результаты расчетов WACC российских и зарубежных компаний пищевой промышленности за период 2014-2018 гг. Примечание: составлено авторами на основе расчетов, приведенных в табл. 1-4

Из приведенной диаграммы графике следует, что российская компания «Мираторг» имеет самый высокий показатель WACC, что свидетельствует о невысоком институциональном развитии российского финансового рынка и недостатках в управлении финансами компании. Стабильно низким показателем средневзвешенной стоимости капитала обладает компания «Danone» – Франция, что и является фактором ее высокой конкурентоспособности по затратам.

В табл. 5 представлены данные о капитализации, рентабельности, структуре капитала каждой из сравниваемых компаний, а также рассчитанные показатели WACC за 2018 г. (для наглядности полученных результатов и формирования выводов, основанных на зависимости указанных показателей).

Также по данным Всемирного банка составлена табл. 6., в которой представлены рейтинги стран по индикаторам конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности (приведены рейтинги стран, на экономических рынках которых представлены анализируемые компании).

Таблица 5

Показатели конкурентоспособности компаний, 2018 г.

Показатель	Мираторг	Korea Yakult Co	Danone	Dr. Pepper
Капитализация, млн. руб.	145220	1716960	6111300	4432814
Рентабельность	22	37	28	43
Стоимость заемного капитала	13,77%	8,47%	12,51%	11,03%
WACC	10,32%	9,55%	4,99%	5,89%

Примечание: составлено авторами на основании данных, приведенных в табл. 1-4, а также информации, размещенной на официальных сайтах [14, 18, 20].

Таблица 6

Рейтинги конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности стран мира середине 2018 г.

Показатель	Россия	Корея (Азия)	Франция (Европа)	США
Рейтинг конкурентоспособности, %	66,7	79,6	78,8	83,7
Рейтинг инвестиционной привлекательности, млн. долл. США (*e-9)	8,749	14,479	59,849	258,39

Напомним, что рейтинг инвестиционной привлекательности рассчитывается как сумма всех привлеченных в страну прямых иностранных инвестиций за год. Рейтинг конкурентоспособности рассчитывается по методике европейского Института менеджмента (Institute of Management Development, IMD, Лозанна, Швейцария). Каждое государство в рейтинге оценивается по 333 критериям в ключевых аспектах экономической и политической жизни страны: состояние экономики, эффективность правительства, состояние деловой среды, состояние инфраструктуры.

Приведенный показатель широко используется в оценках перспектив экономического роста и устойчивой инвестиционной привлекательности компаний развитых и развивающихся экономик. Инвестиционная привлекательность компании, в свою очередь, является фактором повышения конкурентоспособности фирмы. Как следует из таблицы, наиболее экономически развитым и гибким для ведения предпринимательской деятельности является рынок США.

Заключение

Из проведенных расчетов следует, что компания «Мираторг», функционирующая на российском рынке, является «лидером» по показателю WACC среди анализируемых компаний, принадлежащих к одной отрасли и имеющих одинаковый масштаб. В то же время стоимость привлекаемого ею заёмного капитала значительно снизилась за последние пять лет: с 25,27% в 2014 г. до 13,77% в 2018 г. Принимая во внимание этот факт, компании необходимо обеспечить рентабельность основной деятельности не ниже рассчитанного значения показателя WACC, что обеспечит возможность реализации долгосрочных инвестиционных программ. Для зарубежных компаний с более низкими страновыми рисками показатель WACC ниже российского значения, а, следовательно, ниже и стоимость капитала, обеспечивающего более высокую их капитализацию.

Российская компания значительно отстает по эффективности от западных, имея структуру капитала, далекую от оптимальной, что обусловлено:

- неразвитостью рынков капитала (институциональный фактор);
- ограниченностью финансирования российского бизнеса из западных источников в условиях санкций;
- ошибками менеджмента.

Однако, потенциал роста компании на внутреннем и внешнем рынках, несомненно, имеется. Очевидные рекомендации для компании «Мираторг» в рамках стратегии повышения конкурентоспособности: необходимо диверсифицировать источники финансирования для разных видов деятельности. Это позволит снизить затраты на капитал и повысить показатели эффективности и рентабельности компании.

Таким образом, для азиатских, американских и европейских компаний открываются более широкие в сравнении с российскими возможности по развитию и масштабированию бизнеса (по крайней мере, в ближайшее время). Следует также сделать вывод о влиянии на показатель средневзвешенной стоимости капитала компании странового рейтинга инвестиционной привлекательности. Влияние этого фактора особенно заметно для компаний страны с развивающейся экономикой.

Следует подчеркнуть и особую актуальность теоретических исследований и практических расчетов средневзвешенной стоимости капитала российских компаний реального сектора экономики, являющейся важным индикатором затрат на привлечение капитала, инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности.

Используемые ранее методы многоэтапной оценки средневзвешенной стоимости капитала не отличались точностью, а принимаемые на их основе управленческие решения – корректностью. В этой связи использованная в работе формула средневзвешенной стоимости капитала является удобным инструментом анализа производственной и финансовой сфер предприятия и выбора согласованных решений акционеров и менеджеров.

Следует отметить особую актуальность теоретических исследований и практических расчетов средневзвешенной стоимости капитала российских компаний

реального сектора экономики, являющейся важным показателем их конкурентоспособности по затратам на привлечение и обслуживание капитала. В частности, проведенные расчеты и сделанные на их основе обобщения подтверждают справедливость для российских компаний тезиса о прямой зависимости между структурой, стоимостью капитала и эффективностью производственного сегмента компании, оцениваемой коэффициентами рентабельности собственного, полного капитала и показателями инвестиционной привлекательности.

1. Аббясова Д.Р., Халиков М.А. Факторы стоимости и управление стоимостью инновационно-ориентированной компании // Современные проблемы науки и образования. 2015. №2 – 2. С. 405.
2. Анциборко К. В., Халиков М. А. Оптимальная структура производственного капитала компании // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2007. № 5. С. 71 - 83.
3. Безухов Д. А. Модели и методы оптимального управления оборотным капиталом производственной сферы предприятия в условиях нестабильных рынков // дисс. по спец. 08.00.13. 2015.
4. Безухов Д.А., Максимов Д.А., Халиков М.А. Оптимизация структуры оборотного капитала производственной сферы промышленной корпорации. - М.: ФГБОУ ВО "РЭУ им. Г.В. Плеханова". 2017. 171 с.
5. Безухов Д.А., Халиков М.А. Математические модели и практические расчеты оптимальной структуры производственного капитала предприятия с неоклассической функцией // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-1. С. 114-123.
6. Брейли Р., Майерс С. Принципы корпоративных финансов: пер. с англ. М: ЗАО «Олимп-Бизнес», 1997. 1120 с.
7. Максимов Д.А., Халиков М.А. Концепция и теоретические основы управления производственной сферой предприятия в условиях неопределенности и риска // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10-4. С. 711-719.
8. Теплова Т. В., Селиванова Н. В. Эмпирическое исследование применимости модели DСАРМ на развивающихся рынках // Корпоративные финансы. 2007. №3 (3). С.5-25.
9. Халиков М.А., Хечумова Э.А., Щепилов М.В. Модели и методы выбора и оценки эффективности рыночной и внутрифирменной стратегий предприятия/ Под общ. ред. проф. Халикова М. А. М.: Коммерческие технологии. 2015. 595 с.
10. Горский М.А., Кухаренко А.Ю., Стерн А.А. Формула агрегированного расчета средневзвешенной стоимости капитала компании // Путеводитель предпринимателя. Вып. XXXIX. 2018. С. 123-142.
11. Gutmann, A. How to be an investment banker: recruiting, interviewing, and landing the job. Wiley Finance Series. 2013. 448 p.
12. Hamada Robert S. Portfolio Analysis, Market Equilibrium and Corporation Finance. The Journal of Finance, Vol. 24, No. 1. (Mar., 1969), pp. 13-31.
13. Котировки и финансовые новости [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.investing.com/> (Дата обращения 07.11.19).
14. База данных мировых финансовых показателей Damodaran Online website [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stern.nyu.edu/> (Дата обращения 07.11.19).
15. Котировки акций и финансовые новости [Электронный ресурс]. URL: <https://www.finanz.ru/> (Дата обращения 07.11.19).
16. Котировки, финансовые показатели и финансовые новости [Электронный ресурс]. URL: <https://ycharts.com/dashboard/> (Дата обращения 07.11.19).
17. Информационное агентство Morningstar [Электронный ресурс]. URL: <http://www.morningstar.com/> (Дата обращения 07.11.19).
18. Официальный сайт Лондонской фондовой биржи [Электронный ресурс]. URL: <http://www.londonstockexchange.com> (Дата обращения 07.11.19).
19. Официальный сайт рейтингового агентства «Эксперт РА» [Электронный ресурс]. URL: <https://raexpert.ru/> (Дата обращения 07.11.19)
20. Официальный сайт Московской Биржи [Электронный ресурс]. URL: <https://www.moex.com/> (Дата обращения 07.11.19).
21. Официальный сайт холдинга «Мираторг» [Электронный ресурс]. URL: <https://miratorg.ru/> (Дата обращения 07.11.19).
22. Официальный сайт компании Korea Yakult Co [Электронный ресурс]. URL: <https://koreayakult.tradekorea.com/company.do> (Дата обращения 07.11.19).
23. Официальный сайт группы компаний Danone в России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.danone.ru/> (Дата обращения 07.11.19)
24. Официальный сайт Dr. Pepper Snapple Group [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drpeppersnapplegroup.com/> (Дата обращения 07.11.19).

РАЗДЕЛ V. ЭНЕРГЕТИКА

Кузина Е.С.

Анализ основных проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы России

Московского филиала ООО «Газпром проектирование»

(Россия, Московская область)

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-08

idsp: sciencerussia-10-02-2020-08

Аннотация

В статье рассмотрено состояние минерально-сырьевой базы России на 2018 год. Приведены основные проблемы воспроизводства минерально-сырьевой базы России на современном этапе. Предложены пути для решения проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы за счет вовлечения в добычи трудноизвлекаемых и нетрадиционных ресурсов углеводородов.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, традиционные углеводороды, нетрадиционные углеводороды, геологоразведочные работы, трудноизвлекаемые запасы.

Abstract

The article considers the state of the mineral resource base of Russia for 2018. The main problems of reproduction of mineral resources base of Russia at the present stage are given. The ways to solve the problems of reproduction of mineral resources through the involvement in the production of hard-to-recover and unconventional resources of hydrocarbons.

Keywords: mineral raw material base, traditional hydrocarbons, and unconventional hydrocarbons, exploration, stranded.

Российская Федерация обладает одним из крупнейших в мире минерально-сырьевым потенциалом углеводородов, являющимся основой гарантированного обеспечения экономической и энергетической безопасности страны, удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России.

Главная суть проблем, стоящих перед топливно-энергетическим комплексом в отношении минерально-сырьевой базы углеводородного сырья, как в России, так и за рубежом, является поиск так называемых традиционных углеводородов, которые существующая экономическая система позволяет добывать рентабельно с высокими коэффициентами нефте- и газо- извлечения.

Основные экономико-структурные проблемы можно разделить на три основных направления:

- финансирование поиска и разведки всех видов углеводородов (УВС) на уже освоенных территориях, где геологоразведка и добыча могут быть выполнены по приемлемым ценам с созданием экономически выгодных условий для поиска, разведки, добычи и переработки нетрадиционных видов УВС;
- финансирование поиска и разведки традиционных углеводородов на слабоизученных или не изученных, но перспективных территориях, где геологоразведочные работы и добыча могут быть выполнены по более

- высоким ценам с созданием экономически выгодных условий для их поиска, разведки, добычи, транспортировки и переработки;
- финансирование поиска и разведки нетрадиционных углеводородов на слабоизученных или не изученных, но перспективных территориях, где геологоразведка и добыча могут быть выполнены по более высоким ценам с созданием экономически выгодных условий для их поиска, разведки, добычи, транспортировки и переработки.

Проблема качества УВ, заключающаяся в стоимости и качестве технологий геологоразведки, добычи, транспорта и переработки, а также и инфраструктурной освоенности территорий стала уже глобальной [1].

Основная добыча ведется из традиционных запасов. Это означает, что для этих видов углеводородов найдены и используются экономически рентабельные технологии, однако структура качества запасов в России с каждым годом ухудшается и на сегодняшний день трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ) с низкой нормой рентабельности подходят к 60% [3].

Для других видов запасов (так называемых нетрадиционных) используемые технологии дают еще более высокую стоимость добычи. Главной задачей в этой связи остается не только поиск традиционных видов запасов УВС, но и поиск нетрадиционных запасов с использованием новых технологий, включая создание новых экономических условий, позволяющих рентабельно добывать как традиционные запасы УВС, так и нетрадиционные.

В таблице 1 представлено состояние минерально-сырьевой базы России на 01.01.2018.

Таблица 1.

Состояние минерально-сырьевой углеводородов России на 01.01.2018

Запасы (извлекаемые)	A B ₁ C ₁	B ₂ C ₂
Нефть		
Объем, млрд. т	18,5	11,3
Для распределенного фонда, %	96,6	92,2
Конденсат		
Количество, млрд. т	2,3	1,7
Для распределенного фонда, %	98,4	94,6
Газ		
Объем, трлн. м ³	49,5	23,8
Для распределенного фонда, %	97,4	93,7
Потенциальные ресурсы	D₀	D₁+D₂
Нефть		
Объем, млрд. т	13,9	43,9
Для распределенного фонда, %	52,6	33,8
Конденсат		
Количество, млрд. т	1,9	11,3
Для распределенного фонда, %	61,3	19,8
Газ		
Объем, трлн. м ³	34,1	157,2
Для распределенного фонда, %	66,5	11,4

Источник: составлено автором по данным [7]

На рисунке 1 представлена структура нефтегазовых провинций России.

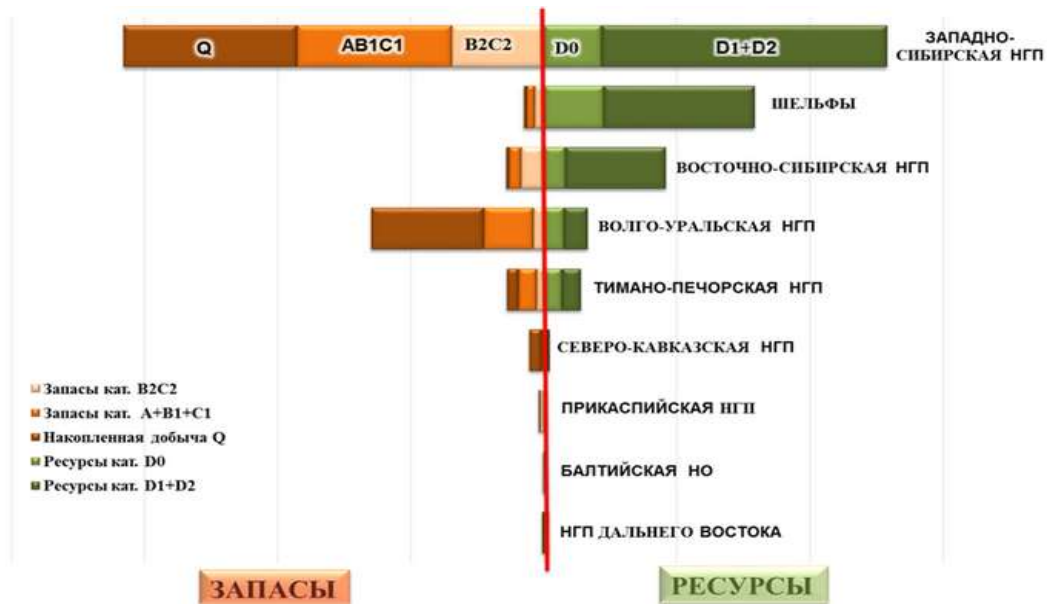


Рисунок 1. Структура минерально-сырьевой базы углеводородов России на 01.01.2018

Источник: составлено автором по данным [7]

Анализируя структуру начальных суммарных ресурсов нефти и газа России по нефтегазоносным провинциям, можно заметить, что Западно-Сибирская НГП остается основной для перспектив добычи. По газу, кроме Западно-Сибирской НГП, выделяются акватории морей. Однако данное состояние отображает лишь степень изученности нефтегазоносных территорий, которые, в основном, изучены по площади недостаточно и неравномерно. По динамике разведанности начальных суммарных ресурсов нефти и газа, а также разбуренности вся территория России исследована геологоразведочными работами недостаточно, но при выполнении требуемых объемов геологоразведочных работ будут приращены ресурсы и запасы углеводородов, соответствующие существующим. Следует учесть, что ключевым фактором из вышеприведенной диаграммы является темп изучения поисковым бурением. Если до 1991 г. темп поискового бурения с ежегодным остом в 20% обеспечивал наращивание изученности и НСР (начальные суммарные ресурсы) нефти и газа [4], то в последующем периоде темп поискового бурения снизился до 8–5% и перестал обеспечивать необходимый уровень степени изученности [5].

Представленный выше анализ ресурсной базы углеводородов России касается только жидких углеводородов и газа, учитываемых в госбалансе России и в количественной оценке ресурсов углеводородов [2]. В данный анализ не полностью входят трудноизвлекаемые ресурсы и запасы, которые имеются в РФ, так как большая часть таких ресурсов ранее не учитывалась в количественной оценке углеводородов и при подсчете запасов, в связи с их нерентабельностью.

Речь идет о трудноизвлекаемых ресурсах и запасах углеводородов, к которым были применены новые термины и определения, которые во всем мире у специалистов нефтегазовой отрасли вызывают много вопросов и сомнений.

Сложившаяся неблагоприятная конъюнктура с подготовкой запасов обусловлена как объективными, так и субъективными причинами. К числу объективных причин относятся: завершение эпохи открытия месторождений–гигантов с уникальными запасами углеводородов на глубине до 5 км; исчерпание ресурсов в пределах бассейнов традиционной нефтедобычи на глубине до 5 км [6]; сокращение числа недостаточно изученных осадочных бассейнов в пределах потенциально нефтегазоносных регионов, а также уменьшение вероятности открытия новых месторождений с уникальным или крупным по величине ресурсным потенциалом. В качестве субъективных причин,

оказывающих отрицательное влияние на величину и темпы роста минерально-сырьевой базы в России, следует отметить: отсутствие экономического стимулирования ГРР в условиях рыночной экономики, недостаточное нормативно-правовое обеспечение прав собственности на результаты геологоразведочных работ.

Будущее нефтедобывающей отрасли России в долгосрочной перспективе с учетом ее текущего состояния и поставленных перед ней целей напрямую зависит от быстрого и успешного выполнения геологоразведочных проектов, в том числе на российском континентальном шельфе. Но российские нефтегазовые компании не имеют острой необходимости инвестировать в новые открытия ввиду богатой существующей минерально-сырьевой базы.

1. Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 года N 1039-р.
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016-2017 гг. ФГБУ «ВИМС»
3. Варламов А.И., Афанасенков А.П., Фортунатова Н.К. Перспективы наращивания минерально-сырьевой базы традиционных и трудноизвлекаемых углеводородов России // Геология нефти и газа. – 2018. – № 3. – С. 2–25.
4. Высоцкий В.И. Ресурсы нефти и газа мира. Глобальные и региональные тренды их освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2017. – № 5. – С. 22–26.
5. Высоцкий В.И. Нефтегазовая промышленность мира в 2010–2016 гг. Информационно-аналитический обзор. – М. : ОАО «ВНИИЗарубежгеология», 2017. – 59 с.
6. Мелехин Е.С., Морозова Е.В., Федорова С.Е. Состояние и перспективы использования ресурсов газа в России // Научно-экономический журнал Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом, изд-во ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2018 - № 6 С.15-19
7. Состояние минерально-сырьевой базы углеводородов России [электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/zapasy/454176-sostoyanie-mineralno-syrevooy-bazy-uglevodorodov-rossii/>

РАЗДЕЛ VI. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Ковдерко В.Э.

Деградация и прогресс наук естественного профиля

(Беларусь, Гомель)

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-09

idsp: sciencerussia-10-02-2020-09

Аннотация

Предлагаемая публикация посвящена фундаментальным составляющим естественных наук, деградация в большей мере касается их, прикладные составляющие вправе считаться более успешными. Фундаментальные составляющие задействованы преимущественно в обучающих программах всех уровней,

Ключевые слова: деградация, фундаментальные составляющие, прикладные составляющие, обучающие программы.

Abstract

The proposed publication is devoted to the fundamental components of natural Sciences, degradation is more concerned with them, applied components can be considered more successful. Fundamental components are more involved in training programs at all levels.

Keywords: degradation, fundamental components, applied components, training programs.

При знакомстве с образовательными программами возникают сомнения в их валидности, начиная с детсадовского уровня. Первым объектом изучения является Алфавит. Особых претензий к нему нет, чего нельзя сказать о следующей ступеньке грамотности – Арифметике. Казалось бы, нет оснований подозревать её в недостаточной легитимности, миллиарды людей земного шара пользуются калькуляторами и другой вычислительной техникой, считая истинными выдаваемые ими результаты. По вычислительным гаджетам [1] $25 \times 0 = 0$, с чем трудно согласиться, предпочтительнее признать операцию нелегитимной. Ноль является декадным множителем, поставленный справа от цифры, без знаков умножения или деления между ними, увеличивает её модуль в 10 раз. Деление 1:1 на бытовом уровне представляется лишённым смысла. $1 \times 1 = 1$ по калькулятору, по правилу умножения (к множимому прибавляется множитель) $1 \times 1 = 2$, как то $2 \times 2 = 2 + 2 = 4$. Нуждаются в переосмыслении результаты деления целых чисел на дроби, например: $4 : 0,5 = 8$; $4 \times 0,5 = 2$. По логике, должно бы быть наоборот. 0,5 это $\frac{1}{2}$ -- половина от 4-х, то есть $- 2$. $4 : 2 = 2$; $4 \times 2 = 8$. Чему учим?

В фундаментальных природоведческих дисциплинах алогизмов не меньше, но объём публикации не позволяет остановиться на них подробно, принято решение ограничиться простым перечислением.

1. Озона (O_3) в Природе нет, никогда не было, не могло быть. Это заявление подтверждается тремя фактами: 1) наиболее тяжёлый ингредиент атмосферы концентрируется в стратосфере, тогда как по закону гравитации, место ему у земной поверхности или даже в пористых грунтах; 2) массовая доля озона в атмосфере миллионная доля процента, на молекулярном уровне так называемый «озоновый слой» адекватен сетке рябица. Можно не продолжать; 3) с подачи Чепмена озон образуется по уравнению: $3O_2 + \text{УФР} = 2O_3$. Успевающий восьмиклассник должен определить, что

жёсткий ультрафиолет поглощает кислород. Якобы образовавшийся озон снова поглощать УФР не может. А с чем связан характерный запах? Пахнут атомные ионы кислорода.

2. Категорически нельзя использовать жидкий азот для охлаждения аварийных ядерных реакторов во избежание аварийных ситуаций, как на ЧАЭС, ФАЭС, др. Азот, водород, кислород, углерод в разных сочетаниях являются сильными взрывчатыми веществами. В помещениях аварийных ядерных реакторов водорода, кислорода, углерода предостаточно, причём в реакциспособных атомно-ионных формах, газообразный азот используется для вытеснения воды из гидробаллонов при отказах главных циркуляционных насосов ГЦН, жидкий азот применяется для охлаждения реактора и реакторного помещения. На АЭС Фукусима 1 жидкий азот применялся для вытеснения из реакторного помещения водорода, разумеется, атомарного, поскольку молекулярная его форма исключена из-за высокого уровня радиации. Кто до такого мог додуматься? Водород с атомной массой 1, вытеснить азотом с атомной массой 7. Не проще ли было в наиболее высокой части реакторного помещения установить выпускной клапан? Результат не замедлил сказаться: 4 блока АЭС Фукусима 1 оказались взорванными. По указанной причине, взрыв чудовищной силы прогремел на 4 блоке ЧАЭС. Соизмеримые по мощности природные взрывы имели место над Тунгусской тайгой и в окрестностях Челябинска, др. Астрономы и близкие к ним по роду занятий связывают их с падениями метеоритов. Неужел не знают, что метеориты – каменные, железокатенные, железные – не взрываются. Взрываются могут кометы, состоящие целиком из водородного льда, или в виде цемента каменных фрагментов в атмосферах, содержащих азот. Получается, Природа научилась изготавливать водородные бомбы значительно раньше человека.

3. Законы Ньютона не являются основными законами природы, основы гравистики заложил Галилео Галилей задолго до рождения Ньютона. Однако фетишизация так называемых законов Ньютона привела к их включению в учебные программы всех уровней обучения. Представляется, достаточно упоминания о них в разделах – механика. Первый, якобы закон, утверждает, что тело будет находиться в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения, если действующие на него силы взаимно компенсированы. Близкое к такому состоянию имеет место в помещении космической станции, в природе нет абсолютного покоя, равномерного, тем более прямолинейного, движения. На бытовом уровне тело может находиться в состоянии покоя при наличии силы, удерживающей его в этом состоянии.

4. Единицей силы следует считать **кГ**, замена на **Ньютон** не соответствует её размерности – $\text{кг} \times \text{м}/\text{с}^2$. По мнению автора, необходимо вернуться к **кГ**. Сколько на Земле проживает выдающихся физиков, очевидно, никто не считал, а сколько их было до нашего времени? Однако размерность ускорения не меняется – $\text{м}/\text{с}^2$. Скорость имеет размерность $\text{м}/\text{с}$, а изменение **этой же** скорости со знаком + или – имеет размерность $\text{м}/\text{с}^2$. Квадрат откуда? Неужели не доходит, что ускорение, не зависимо от знака, это количество метров за 1 (одну) секунду. Жаль, что ученики не растолковали этого своим учителям.

Претензии к физикам этими замечаниями не исчерпываются, рассматривать их в предполагаемой публикации не позволяет её объём, оставить всё как есть, тоже не лучший вариант, поэтому заинтересованных читателей отсылаем к общедоступному источнику [2].

5. Солнце не газовый шар, оно состоит из 2-х непрерывных гелиосфер: а) твёрдого внутреннего ядра (остова); б) расплавленной силикатной оболочки. Фотосфера имеет незначительную мощность (толщину) и представляет собой «кипящий слой». Вся солнечная энергия заключена в силикатном расплаве и поддерживается, в основном, за

счёт естественного распада радионуклидов, трения о твердый остов и внутренних трений. Широко разрекламированные реакции синтеза гелия из водорода в центре Солнца места не имеют. Могут возразить, что элемент гелий был впервые обнаружен в фотосфере. Да, это соответствует действительности, но он является продуктом распада радионуклидов.

Общеизвестно, активность Солнца изменяется от спокойного до эруптивного состояния с периодичностью примерно в 11 лет. При спокойном Солнце его поверхность имеет равномернозернистую структуру, затем появляются тёмные пятна и «факелы», а при высокой активности изобилуют эруптивные процессы с выбросами солнечного материала. Такое поведение Солнца пока не имеет приемлемого научного объяснения. По авторской версии, спокойные периоды соотносятся с низкой активностью распада радионуклидов за счёт выработки их в «ловушках» на твёрдом остове. В течение 11 лет концентрации радионуклидов в «ловушках» возрастают до критических. Незначительного напряжения мыслительного аппарата достаточно для реконструкции последующих событий на нашем светиле. Солнце не только греет, но и охлаждает, причём охлаждает приповерхностную атмосферу (– 89 С) сильнее нежели греет (+58 С) [3 с. 8].

6. Глобальное потепление, скорее миф нежели природное явление, придумано климатологами и экологами с целью привлечения дополнительного финансирования. Политикам он (миф) также обеспечивает повышенный бонус доверия. Учёные тоже не отстают, поскольку позиционируют себя вперёдсмотрящими, кроме того, пишутся и готовятся к защите кандидатские и докторские диссертации. Таким образом, есть за что держаться, не заботясь о валидности обсуждаемого явления.

Не доводилось читать или слышать от заинтересованных в глобальном потеплении лиц о наиболее масштабном современном оледенении в Южном полушарии. Общая площадь ледника составляет 16 миллионов км² [4, с. 18]. Не окружай континент Антарктиду Мировой океан, площадь ледяного щита могла бы быть в 1,5 – 2 раза большей. Следовательно, так называемое глобальное потепление применимо лишь к Северному полушарию, преимущественно на Европейском континенте, за Уралом могут иметь место кратковременные локальные повышения температуры. Следует иметь в виду, что Северное полушарие ледник покинул всего лишь 6 тысяч лет от ныне. Остатки ледника сохранились на о. Гренландия и некоторых близких к нему островах. Их правомочно относить к горным ледникам. Есть уверенность, что через 10 – 15 тысяч лет оледенение начнёт развиваться снова в Северном полушарии. По авторской версии, континентальные оледенения контролируются положением Северного полюса магнитного поля Земли. В настоящее время он находится в Южном полушарии. Можно не сомневаться в том, что Северный магнитный полюс в очередной раз переключается в Северное полушарие и на нём, тоже в очередной раз, установится ледниковый период, другого природа не предусмотрела. Некоторые видные гляциологи считают, что оледенения имели место на протяжении всей геологической истории ссылаясь на наличие погребённых ледниковых образований в породах палеозойской и даже протерозойской эр. По авторской версии, это следы горных оледенений, горных ледников предостаточно в пределах современных континентов. Площадные оледенения появились в современном антропогеновом периоде [5 с. 56 – 66].

7. Коротко об опасных для человечества землетрясениях. Абсолютное большинство землеведов связывает их с движениями, так называемых, литосферных плит, а гипоцентры катастрофических событий опускают в земные недра до 70 км. Это якобы сильно затрудняет их прогноз, профилактику тем более. По авторской версии, разрушительными являются землетрясения при глубине гипоцентров от метров до

десятков метров. Это позволяет определять не время, а саму возможность разрушительного события на любой доступной для наблюдения территории [6] и осуществлять их профилактику [7].

С другими, не менее интересными для обсуждения темами можно ознакомиться по источнику [8].

1. Электронные вычислительные гаджеты.
2. Ковдерко В.Э. Персональный сайт ...kovderko.xab.ru
3. Ковдерко В. Э. Алогизмы и патовые ситуации в естествознании / В. Э. Квдерко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 99с.: ил. – ISBN 978-985-535-242-7.
4. География материков и океанов. Географический атлас для 7 класса, 1989 г. – 41с.
5. Ковдерко В. Э. Почему жизнь выбрала Землю / В. Э. Ковдерко. – Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2004. – 80 с. ISBN 985-439-024-1.
6. Ковдерко В. Э. Способ выявления сейсмически опасного горного массива. Патент RU № 2137919, 20.09. 1999.
7. Ковдерко В. Э. огрессСпособ уменьшения сейсмической опасности, исходящей от горного массива. Патент RU № 2138638, 27. 09. 1999.
8. Ковдерко В. Э. Земля и ближний космос. Нерешённые проблемы / В. Э. Ковдерко. – Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2003. – 340 с. ISBN 985-439-093-4 2020-01-21

РАЗДЕЛ VII. РАДИОТЕХНИКА

Поленин В.И.

Прогноз профиля уровня сигнала обратного рассеяния электромагнитного излучения лидара в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта*Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия»
(Россия, Санкт-Петербург)**doi: 10.18411/sr-10-02-2020-10**idsp: sciencerussia-10-02-2020-10***Аннотация**

Рассматривается известное явление наблюдаемости области гидрофизических возмущений морской водной среды от подводного движущегося объекта при осуществлении в подводной среде лидарного зондирования путем лазерного излучения. На основе знания физики явления обратного рассеяния сигнала лидара дипольным полем молекулярных водных структур, прогнозируется характер изменения уровня сигнала, принимаемого фотодатчиком неподвижного лидара в период прохождения подводного объекта.

Ключевые слова: диполи, магнитное поле Земли, подводный движущийся объект, жидкие кристаллы-кластеры, луч лазера.

Abstract

The well-known phenomenon of observability of the region of hydrophysical disturbances of the marine aquatic environment from an underwater moving object when lidar sensing is carried out in an underwater environment by laser radiation is considered. Based on the knowledge of the physics of the phenomenon of backscattering of the lidar signal by the dipole field of molecular water structures, the nature of the change in the level of the signal received by the stationary lidar photosensor during the passage of the underwater object is predicted.

Keywords: dipoles, earth magnetic field, underwater moving object, liquid crystals clusters, laser beam.

Рассматривается известное явление [3, с. 4] наблюдаемости области гидрофизических возмущений морской водной среды от подводного движущегося объекта при осуществлении в подводной среде лидарного зондирования путем лазерного излучения в сине-зеленой части спектра и получения сигнала обратного рассеяния приемником лидара, включающим объектив и фотодатчик.

Открытием [4 – 9] установлено, что одной из основных причин наблюдаемости области гидрофизических возмущений морской водной среды от подводного движущегося объекта лучом лидара служит явление флуктуации уровня обратного рассеяния электромагнитного излучения лазера квазистационарным электрическим дипольным полем молекулярных водных структур в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта.

В толще и на поверхности морской (океанской) среды в условиях стационарного морского (океанского) течения диполи молекулярных водных структур имеют пространственную ориентацию, обусловленную местным направлением магнитного поля Земли и пространственным перемещением массы воды в форме морских течений, что создает однородное квазистационарное электрическое дипольное поле молекулярных водных структур морской водной среды. В условиях стационарного

морского (океанского) течения и воздействия магнитного поля Земли, сигнал обратного рассеяния, принимаемый фотодатчиком лидара, будет иметь по трассе луча, при неизменности направления излучения, стабильный уровень с малыми случайными колебаниями, обусловленными тепловыми, гидрофизическими, биологическими и иными случайными факторами, при закономерном уменьшении амплитуды по мере увеличения расстояния за счет рассеяния энергии излучения (рис. 1).

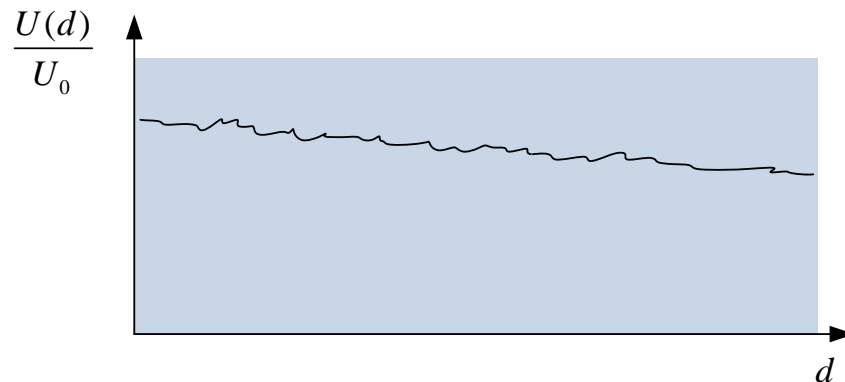


Рисунок 1. Характер изменения уровня сигнала по дальности, принимаемого фотодатчиком лидара при неизменности направления излучения

В области водной среды, прилегающей к подводному движущемуся объекту, векторы электростатической напряженности диполей жидких кристаллов-кластеров изменяют свое направление в соответствии с гидрофизическими возмущениями, создаваемыми подводным движущимся объектом. Вызванные внешними гидрофизическими возмущениями, изменения направлений векторов электростатической напряженности диполей жидких кристаллов-кластеров, составляющих свыше 40% общего объема воды, сохраняются в области гидрофизических возмущений в течение десятков минут с момента их образования.

Уровень сигнала, принимаемого фотодатчиком лидара по трассе луча в пределах области гидрофизических возмущений, прилегающей к подводному движущемуся объекту, и по его следу, приобретет характер изменений в соответствии с гидрофизической структурой и ориентацией слоев и вихрей.

Природа обтекания подводного движущегося объекта такова, что гидрофизические возмущения морской водной среды имеют двойкий характер: вокруг него слои воды ламинарно изменяют свое направление или ориентацию в пространстве, а вслед за объектом образуются турбулентные струи и вихри (рис. 2).

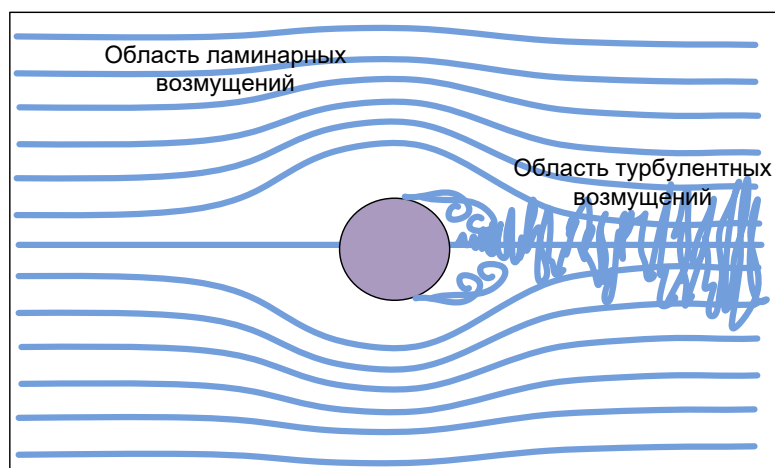


Рисунок 2. Гидрофизические явления при обтекании подводного движущегося объекта

В указанных областях обтекания подводного движущегося объекта, в силу вязкости воды имеет место изменение пространственной ориентации электрических диполей молекул воды, приблизительно повторяющее конфигурацию слоев (рис. 3).

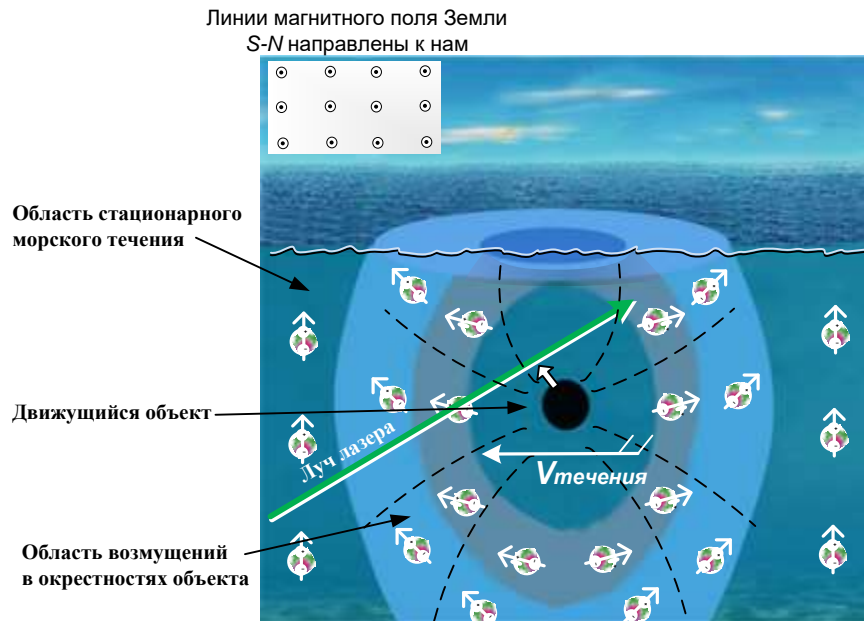


Рисунок 3. Пространственная ориентация диполей молекул воды в условиях стационарного морского течения и в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта

Известно, что после снятия возмущений электрические диполи жидких кристаллов-кластеров имеют время релаксации порядка 30-40 минут [1, 2]. То есть они в течение указанного времени будут ориентированы в соответствии с текущим гидрофизическим состоянием среды, и лишь после этого – восстанавливать упорядоченность, определяемую местным течением и ориентацией магнитного поля Земли.

Устойчивость измененной пространственной ориентации молекулярных водных структур, вызванной гидрофизическими возмущениями от подводного движущегося объекта и сохраняющейся в течение значимого времени порядка десятков минут, обуславливает, при зондировании лазером, возникновение путевой анизотропии вдоль направления луча лазера как сочетания детерминированного изменения уровня обратного рассеяния в ламинарной области и его флуктуации в турбулентной области.

Уровень сигнала, принимаемого фотодатчиком лидара по трассе луча в пределах области гидрофизических возмущений, прилегающей к подводному движущемуся объекту, приобретет характер:

- вокруг объекта – регулярных, детерминированных изменений фонового сигнала в соответствии с гидрофизической структурой и ориентацией ламинарных слоев;
- по следу объекта – флуктуаций, случайных колебаний в соответствии с гидрофизической структурой и ориентацией струй и вихрей.

И то, и другое соответствует дистанционной регистрации гидрофизических возмущений дипольного поля морской водной среды, то есть наблюдаемости области, прилегающей к подводному движущемуся объекту, при ее зондировании лучом лазера.

Для регистрации движущегося объекта луч лазера не обязательно должен пересекать трассу его движения. Достаточным является вариант пересечения лучом лишь периферии области ламинарных гидрофизических возмущений, в которой эффект возмущения будет достаточен для его регистрации (рис. 4).

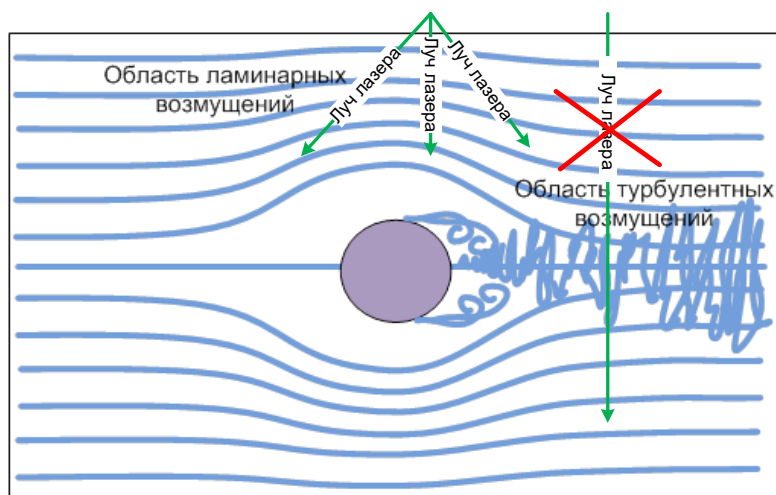


Рисунок 4. Варианты пересечения лучом траектории объекта и периферии области гидрофизических возмущений

Это важно по той причине, что дальность видимости луча лазера в воде ограничивается десятками метров.

Знание физики явления обратного рассеяния сигнала лидара дипольным полем молекулярных водных структур позволяет прогнозировать характер изменения уровня сигнала, принимаемого фотодатчиком неподвижного лидара в период прохождения подводного объекта, который может изменяться в зависимости от ориентации луча лазера (горизонтальная, вертикальная), настройки плоскости поляризации луча лазера и местных условий по магнитным склонению и наклонению.

На рис. 5 показано прогнозируемое изменение профиля уровня сигнала обратного рассеяния в области его регистрации. Приняты условия стационарного расположения лидара сверху от объекта с горизонтальной ориентацией луча и нулевого значения угла магнитного наклонения.

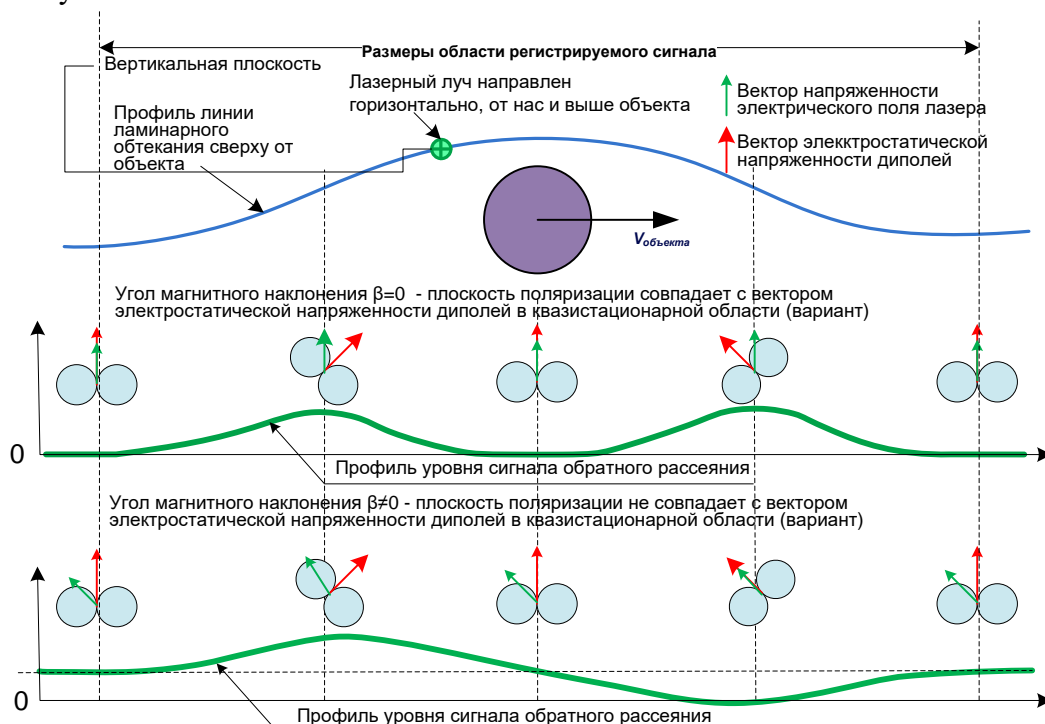


Рисунок 5. Зависимость профиля уровня сигнала обратного рассеяния от ориентации луча лазера и плоскости его поляризации (варианты)

Как видно, ожидаемый профиль уровня полезного сигнала, принимаемого лидаром, существенно определяется условиями наблюдения и пространственной ориентацией и плоскости поляризации луча лазера. Возникает возможность управляемого изменения ориентации лазерного луча и плоскости поляризации для обеспечения наилучшей чувствительности средств обнаружения с учетом местных магнитного склонения и магнитного наклона, а также возможность прогнозирования профиля уровня полезного сигнала, принимаемого лидаром уровня полезного сигнала, что недоступно для обыденного знания.

Такова практическая значимость открытия явления дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера.

1. Зенин С.В., Тяглов Б.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды. Ж.Физ.химии.1994.Т.68.№4.С.636-641.
2. Основы физики воды / Антонченко В.Я., Давыдов А.С., Ильин В.В.; Отв.ред. Бродин М.С.; АН УССР. Институт теоретической физики.– Киев : Наук. Думка, 1991, – 672 с.
3. Родионов М.А. Исследование возможностей лидарной диагностики гидрофизических полей на основе гидрологических и гидрооптических измерений в северных морях России. – Автореф. дисс. канд. физмат. наук. – СПб.: 2012. – 27 с., Родионов М.А. Исследование возможностей лидарной диагностики гидрофизических полей на основе гидрологических и гидрооптических измерений в северных морях России. – Автореф. дисс. канд. физмат. наук. – СПб.: 2012. – 27 с.
4. Поленин В.И. Явление единой причинности дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС // Мультидисциплинарный сборник научных публикаций // XXXII Международная научно-практическая конференция «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» (13 января 2019 г.). – М.: Научный журнал "Chronos", 2019. – 148 с. – С. 68-85. – URL: http://chronos-journal.ru/archive/new/Chronos_multi_january_2019.pdf.
5. Поленин В.И. Явление единой причинности дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС. // Международная Объединенная Академия Наук (МОАН) Межрегиональный Гуманитарно-Технический Университет // Сборник научных трудов по материалам XXI международной научной конференции 12 марта 2019 г. «Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук». – СПб, 2019. – С. 40-52.
6. Поленин В.И. Явление единой причинности кластерно-дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС // Scientific Cooperation Center «Interactive plus» // Ежемесячный международный научный журнал «Интерактивная наука». Выпуск 3 (37). – Интерактивная наука. – 2019. – № 3 (37). – 86 с. – С. 62-71.
7. Поленин В.И. Явление единой причинности дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС // Научный журнал "Globus" Мультидисциплинарный сборник научных публикаций // XXXVIX Международная научно-практическая конференция «Достижения и проблемы современной науки» (04 февраля 2019г.). –СПб.: 2019. – 120 с. – С. 52-69.
8. Поленин В.И. Наблюдаемость области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта как следствие проявления «гидрофизического поля памяти молекулярных водных структур» // Научный журнал «Национальная безопасность и стратегическое планирование». – СПб: №1 (25), 2019. – С. 33-43.
9. Поленин В.И. Проявление поля памяти молекулярных водных структур в наблюдаемости гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта // Евразийский союз ученых. – 2019. № 4-2 (61). С. 43-52.

РАЗДЕЛ VIII. АРХИТЕКТУРА

Печенкина Ю.В.

Создание живых пространств на основе принципов древней индийской архитектуры

*Уральский Государственный Архитектурно-Художественный Университет
(Россия, Екатеринбург)**doi: 10.18411/sr-10-02-2020-11**idsp: sciencerussia-10-02-2020-11***Аннотация**

Статья посвящена рассмотрению основных принципов проектирования жилых объектов в древней индийской архитектуре. Что является ключевой идеей применения данных принципов. Рассматривается связь природы, человека, и места где он проживает. Как это связь проявляется в проектировании зданий, и в чем польза таких жилых объектов для проживающих в них людей. Также рассматривается факт того, как вселенский ритм проявляется в размерах и формообразовании жилых объектах, и что является основой для проектирования.

Ключевые слова: вселенский порядок, вселенская гармония, древняя индийская архитектура, природные формы, природные пропорции, энергетическая решетка, первейшая форма объекта, аморфное состояние, морфическое состояние, принципы построения вселенной, основная единица измерения, живой размер, тонкая мера человека, универсальный ритм.

Древние индийские архитекторы убеждены, что любое строение должно быть проявлением вселенского порядка и гармонии, и должно создаваться в строгом соответствии с принципами, лежащими в основе строения вселенной.

В природе все гармонично, каждый объект создан, как четко работающий идеальный механизм, наполненный высшим замыслом, проявленным через энергию, преобразованную в природную и эстетическую красоту физических объектов. В каждой форме тела: будь то морская раковина, бабочка, слон или человек, есть определенные правила, по которым создавались физические тела. Эти правила проявляются в природных пропорциях, размерах и формах. И эти же правила ложатся в основу создания жилых пространств в индийской архитектуре. Индусы утверждают, что любая материальная форма имеет под собой определенный высший замысел, который из идеи (энергии), через различные вибрации и длины волн, переходит из непроявленного состояния (тонкое тело) в проявленное состояние (физическое тело). Очень часто эту закономерность сравнивают с известной формулой Альберта Эйнштейна: $E=mc^2$. Подразумевается, что E (энергия) = mc^2 (материя), другими словами, в основе любого материального объекта лежит энергия – это основа древней индийской архитектуры.

Описанные в древних индийских писаниях закономерности, по которым энергия преобразуется в материальные формы, легли в основу ключевых принципов индийской архитектуры.

Давайте рассмотрим один из них: первейшей проявленной формой не проявленного пространства – является квадрат, который с определенной чистотой вибрации колебаний преобразуется в энергетическую решетку, называемую Васту Пуруша Мандала. Эта покоящаяся квадратная волна является ключом для создания всех визуальных и звуковых форм, которые встречаются в этом мире. Считается, что эта сетка есть единое поле энергии и материи. Индийские архитекторы древности

утверждают, что наш дом не только является нашим домом, он так же является и нашей формой (вторым телом), и ключевая идея в проектировании жилых пространств заключается в том, что в основе любого архитектурного проекта, лежит так называемая энергетическая решетка пространства, которая является планом нашего дома.

В древних индийских писаниях говорится, что правильно построенный дом, благословен высшей энергией и такое пространство дарует жильцам:

- Счастье и благополучие;
- Физическое и эмоциональное здоровье и долголетие;
- Удобную и эстетически-комфортную атмосферу;
- Материальные блага;
- Способствует интеллектуальному и духовному развитию.

Что в свою очередь является лишь следствием эффекта воссоздания в жилых пространствах принципов построения вселенной, лежащей в основе божественных замыслов.

За размер или форму живых существ отвечает вселенский ритм, создающий разные формы, его малейшей мерой является ритм 8×8 , который ложится в основу энергетической решетки пространства.

Существуют два основных вида энергетических решеток, применяемых в проектировании в древней индийской архитектуре: $8 \times 8 = 64$ меньших квадратов одинакового размера, это решетка, являясь живой и сознающей, переходит в другую решетку $9 \times 9 = 81$ меньших квадратов. Модульные меры 8 и 9 – это два фундаментальных измерения (масштаба) для всех объектов природы, чтобы проявиться и вырасти в форму.

1. Мандука мандала ($8 \times 8 = 64$) – или Мандука пространство. Масштаб, для тонкого уровня (энергии), применяется для строительства храмов.
2. Парамасайка мандала ($9 \times 9 = 81$) – или Парамасайка пространство. Масштаб, для грубого уровня (материального), применяется для строительства материальных объектов: жилые дома, Бизнес Центры, Торговые Центры, и т.д.

Основополагающий квадрат (форма энергии), проявляясь в материю, изменяется сначала в многогранную форму, а потом в круг – это научное явление, происходящее во вселенной. Этот переход происходит с каждым объектом, переходя из аморфного в морфическое состояние. При этом $8 \times 8 = 64$ это тоже самое, что и $9 \times 9 = 81$, размерность тонкого объекта не поменялась, а поменялась внутренняя структура или решетка, отсюда следует, что энергия равно материя.

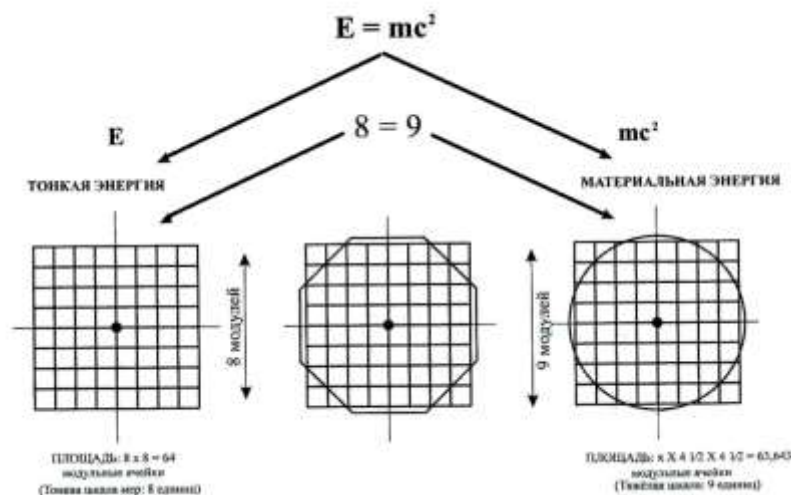


Рис.2 Мандука мандала 8×8 и Парамасайка мандала 9×9

Есть древнее высказывание на Тамильском языке, которое гласит: муравей восемь раз в длину от размера его собственной лапки, голова человека является основной единицей измерения в 8 Таала (Таала=размер ладони).

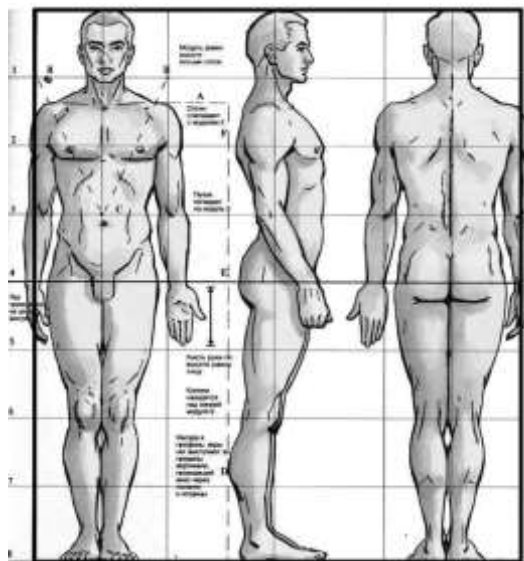


Рис.2 Форма человеческого тела с ритмом 8 Таала

Голова – 1 талам (длина от линии роста волос до подбородка или длина ладони), торс – 3 талам, ляжка – 2 талам, икра ноги – 2 талам, таков ритм человеческого тела, всего 8 единиц – это физическое выражение вселенского ритма. Если внимательно пронаблюдать ритм человеческого тела и проявить его в пространственной пропорции с тем же ритмом, то получится живое пространство, наполненное здоровой вибрацией, благотворно влияющей на проживающих в таких жилых зданиях людей.

Есть разные размеры, например, Индийское Божество Ганеша = 5 Таала. Все живые существа равны разному количеству Таала. При этом основным размером – является энергетическая решетка от 1x1 до 32x32, можно комбинировать эти типы решеток и получать разные формы тел. При этом 8x8 и 9x9 – это фундаментальные типы решеток, остальные являются либо дробными, либо кратные от этих фундаментальных форм.

Пример Земля – это первичная материальная субстанция, согласно теории древнего индийского архитектора Майана, когда она стала принимать форму, то стала кубом 8x8 размером, из которого она выросла до ее нынешнего размера сферы в 7926,57 миль или 12756 км. С энергетической решеткой 9x9. Теперь мы можем ее видеть как яйцо или анда.



Рис.3 Энергетическая решетка Земли 8x8.

Масштаб Земли – ВПМ сетка 8x8 на тонком плане и 9x9 на грубом.

Внешний пояс – Пайсачика Пада – кора Земли, хорошо охлажденный и затвердевший, это позволяет растительности развиваться и людям жить мирно. Размер Земли $7926,57 / 9 = 880,73$, половина этой меры 440,36 миль (440 миль) и есть размер коры. Брахма Пада Земли (поле жара или тепла – ядро Земли) – это три меры и равно 1320 миль. Внутренний слой Маануша Пада. Внутренний слой Дейвика Пада.

Важно чтобы тонкая мера у человека была согласована с универсальным ритмом, для этого необходимо, как утверждают древние архитекторы Индии, при помощи создания жилых пространств, поднять человека на духовном уровне к идеальному тонкому уровню, создавая такое пространство, где человек найдет свои собственные вибрации, отвечающие вибрациям пространства, созданным для него. Это и есть основа принципов древней индийской архитектуры, обучающей тому, как создавать живые пространства, для удобного проживания людей, повышающего общий уровень жизни во всех сферах, таких как эмоциональное и физическое здоровье, социальная адаптация, экономическая устойчивость, духовное развитие и т.д.

Необходимо изучить принципы древней индийской архитектуры, на примере реализованных жилых объектов, спроектированных и построенных по данным принципам, проанализировать какой реальный эффект производят такие жилых пространства на психо-эмоциональное и физическое здоровье человека, а так же насколько возможно применять данные принципы в российской практике проектирования и строительства жилых объектов недвижимости.

1. Др. В. Ганапати Стхапати. Стхапатья Веда. Строительная Архитектура / С.-Петербург: ООО «Печатное Агентство «Феникс», 2016.: - 339 с.
2. Соколова О. Айяди расчеты. Моно наука и технологии происходящие от Майяна. / С.-Петербург: ООО «Печатное Агентство «Феникс», 2016.: - 40 с.
3. Соколова О. Ваш счастливый дом, иллюстрированная Васту Шаstra для всех. / С.-Петербург: ООО «Печатное Агентство «Феникс», 2018.: - 97 с.
4. Борден Майкл. Васту архитектура. Теория и практическое применение. / Перевод с английского: Климова М., Кагаков М., под редакцией: Давыдов С., Шнайдер С.: – 224 с.
5. Mandodari consulting [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mandodari.com/teacher_r.htm

РАЗДЕЛ IX. БИОТЕХНОЛОГИИ

Кривов И.А., Рагимов А.А., Салимов Э.Л.

Коагуляционный потенциал лиофилизированной плазмы инактивированной методом рибофлавина+ ультрафиолетовое облучение спектра В.

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-12

idsp: sciencerussia-10-02-2020-12

Аннотация

Переливание плазмы крови является одним из основных методов лечения тяжелых коагулопатий, при массивной кровопотере. Для полноценного снабжения клиник плазмой необходимо материально-техническое обеспечение гарантирующий поддержание условий холодной цепи. Это условие полностью исключает возможность применения плазмы в полевых условиях и в труднодоступной местности. Лيوфилизация плазмы значительно упрощает решение этой задачи. Наше исследование показывает изменение коагуляционного потенциала после лиофилизации плазмы крови вирусиактивированной рибофлавином + ультрафиолетовое облучение спектра В, и карантинизированной свежзамороженной плазмы.

Ключевые слова: свежзамороженная плазма; лиофилизированная плазма; факторы свертывания крови; коагулопатия; гемостаз.

Материалы и методы

Влияние лиофилизации вирусиактивированной плазмы, а также лиофилизация карантинизированной свежзамороженной плазмы на ее коагуляционную способность была исследована методом лабораторного анализа концентрации факторов свертывания и показателей свертывающей системы (ПВ и АЧТВ).

Вируинактивация донорской плазмы перед лиофилизацией проводилась методом «Мирасол» с использованием рибофлавина + ультрафиолетовое облучение спектра В.

Результаты

Леофилизация карантинизированной свежзамороженной плазмы не привела к существенного снижения концентрации факторов свертывания и показателей свертывающей системы ниже физиологически допустимой нормы. Также наблюдалось некоторое увеличение показателей свертывания (ПВ, АЧТВ) после лиофилизации, в то время как лиофилизация инактивированной плазмы приводит к снижению ниже физиологической нормы фибриногена и VIII факторов свертывания, остальные факторы и показатели оставались в пределах физиологической нормы.

Заключение

Леофилизация плазмы крови человека существенно ни изменяет ее белковый состав и не снижает ее коагуляционный потенциал. Леофилизированная плазма не требует поддержание холодной цепи упрощающую логистику для хранения, и имеет ряд преимуществ перед свежзамороженной плазмой в скорости ее приготовления перед применением в клинической практике.

Таким образом, лиофилизированная патогениактивированная плазма является привлекательным вариантом для базового лечение тяжелых коагулопатий при массивной кровопотери в условиях чрезвычайных ситуациях и в отделениях скорой

помощи, и может существенно повысить качество оказания медицинской помощи пациентам.

Переливание плазмы крови является одним из основных методов лечения тяжелых коагулопатий, при массивной кровопотере. [1-4]. Свежезамороженная плазма (СЗП) или вирусинактивированная плазма сегодня широко применяется в клинической практике. С целью сохранить активность факторов свертывания, плазма должна быть заморожена после сдачи крови и хранится при температуре -30°C вплоть до переливания. Перед трансфузией свежезамороженная плазма должна быть обязательно разморожена и согрета, что требует временных затрат и оборудования. Этот факт полностью исключает возможность применения свежезамороженной плазмы в полевых условиях и при оказании первой медицинской помощи в условиях чрезвычайных ситуаций.

В отличие от свежезамороженной замороженной плазмы, сублимированная (лиофилизированная) плазма может храниться при комнатной температуре и восстановление перед переливанием обычно требует меньших временных затрат. Однако, из-за отсутствия производства лиофилизированной плазмы в России, она не доступна для клинической практики.

Несмотря на то, что лиофилизированная плазма была разработана и с успехом применялась еще во время Второй мировой войны [5], производство лиофилизированной плазмы позже было остановлено из-за высокого риска передачи патогенов гемотрансмиссивных инфекций [6].

Внедрение различных стандартизированных методов снижения патогенности, таких как скрининг доноров на наличие патогенов перед кроводачей, карантинизация и процедуры вирусинактивации, привело к значительному снижению риска инфицирования в отношении широкого спектра бактерий, вирусов и паразитов. [7,8]

Таким образом, совмещение вирусинактивации методом «Мирасол» и лиофилизации может быть перспективным подходом для одновременного решения двух основных задач - безопасность продукции и хранение при комнатной температуре. Это значительно удешевляет и упрощает логистику препарата и расширяет возможность его применения уже на этапе оказания первой медицинской помощи.

В исследовании, мы изучили влияние лиофилизации на уровень факторов свертывания и показателей свертываемости в карантинизированной и в вирусинактивированной плазме.

Исследование подтверждает тот факт, что вирусинактивированная лиофилизированная плазма может служить полноценной альтернативой свежезамороженной плазме.

Материалы и методы

Лфофилизированную плазму получали из СЗП крови человека, характеризующейся биологической (гемостатической) полноценностью и заготовленной согласно существующим в настоящее время требованиям [9-12].

Метод инактивации – вирусинактивация проводилась с использованием системы «Мирасол» с использованием рибофлавина + ультрафиолетовое облучение спектра В.

Способ лиофилизации

Донорская и вирусинактивированная плазма переносилась в стерильные флаконы по 10 мл и замораживалась до -30 градусов. Лфофилизацию проводили в сублимационной установке ТГ-50 (Германия), контролируя давление и температуру, с целью получения лиофилизата с содержанием воды менее 1%.

Флаконы закрывали под умеренным вакуумом и хранили при комнатной температуре $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и 60 ± 5 % влажности. Для восстановления лиофилизаты были сольбилизованы водой для инъекций в соотношении 1:1 при комнатной температуре.

Анализы свертываемости плазмы

После восстановления образцов лиофилизированной плазмы были проведены следующие исследования:

- Концентрация факторов свертывания крови (измеряли в восстановленной лиофилизированной плазме с помощью коагулометров STA Compact (Франция), и Sysmex 2000i (Япония), (Таблица 1).
- Фибриноген (количественно определялся с помощью метода Клауса)

Результаты приведены в виде средних значений стандартных отклонение. Статистическую оценку полученных результатов проводили с использованием дескриптивных статистик при уровне значимости $p < 0.05$.

Таблица 1

Показатели коагуляционного потенциала плазмы.

образец	Ед.из мер	Физиолог норма	СЗП	Лиоф плазма карантинизи рованная	Лиоф плаз инактивированн ая «Мирасол»
Фибриноген	г/л	1,8-3,5	1,9 ± 0,48	2,2 ± 0,12	1,8 ± 2
Фактор II	%	70-120	93 ± 8	88 ± 3	83 ± 4
Фактор V	%	70-120	85 ± 12	72 ± 6	70 ± 3
Фактор VII	%	70-120	95 ± 8	90 ± 5	92 ± 3
Фактор VIII	%	70-120	74 ± 7	66 ± 9	62 ± 7
Фактор IX	%	70-120	78 ± 8	74 ± 4	74 ± 4
Фактор X	%	70-120	98 ± 4	93 ± 8	91 ± 2
Антитромбин III	%	75-125	103 ± 4	82 ± 5	86 ± 4
α 2 антитромбин	%	75-125	92 ± 3	93 ± 3	86 ± 8
Protein C	%	70-150	100 ± 2	99 ± 4	92 ± 4
ПВ	сек	13-18	13 ± 2	15 ± 2	14 ± 3
АЧТВ	сек	26-37	35 ± 1	38 ± 2	36 ± 3

Результаты

Стандартные тесты на свертываемость крови.

По результатам наших исследований отмечалось снижение концентрации фибриногена в лиофилизированной вирусинактивированной плазме. Так же снижается концентрация фактора VIII - его снижение в карантинизированной лиофилизированной плазме составляет 8%, а в лиофилизированной вирусинактивированной плазме 12% по сравнению с СЗП. Остальные показатели менялись не столь существенно. Так, в карантинизированной лиофилизированной плазме снижение по сравнению с СЗП фактора II составило 5 %, фактора VII - 2 %, фактора IX- 0 %, фактора X- 2 %, Антитромбина III - 18 %, α2-антитромбина - 6 %, Protein C- 8 %, ПВ - 1 сек, АЧТВ - 3 сек. (Таблица 1), В лиофилизированной вирусинактивированной плазме по сравнению с СЗП снижение было следующим: фактор II снизился на 11 %, фактор VII на 1 %, фактор IX на 6 %, Фактор X на 8 %, Антитромбин III на 15 %, α 2 антитромбин на 5 %, Protein C на 5 %, АЧТВ на 3 сек. (Таблица 1).

Лиофилизация карантинизированной свежемороженой плазмы не привела к снижению концентрации факторов свёртывания ниже физиологически допустимой нормы. Также, наблюдалось некоторое увеличение показателей свёртывания крови (ПВ, АЧТВ) после лиофилизации карантинизированной плазме, в вирусинактивированной лиофилизированной плазме уровень ПВ и фактора IX оставался на уровне показателей в размороженной СЗП. В то время как лиофилизация инактивированной плазмы приводит к снижению ниже физиологической нормы концентрации фибриногена и фактора VIII. Остальные факторы и показатели оставались в пределах физиологической нормы.

Обсуждение

Исследования показали, что после лиофилизации в плазме крови наблюдаются более длительные ПВ и АЧТВ. Отмечается значительное снижение фибриногена и Фактора VIII, по сравнению с СЗП. Остальные факторы и показатели оставались в пределах референтных значений.

Эти данные согласуются с данными, полученными в других исследованиях, а также с более поздними клиническими данными [14]. Лيوфилизируемая плазма применялась для управления эпизодами кровотечения у пациентов с гемофилией. [14,15] В исследованиях на животных лечение с помощью лиофилизированной плазмы привело к увеличению ранней выживаемости [16].

Также, было доказано, что множественные травмы и геморрагический шок вызывают увеличение ПВ до 70%, а использование лиофилизированной плазмы и СЗП одинаково эффективны в коррекции коагулопатии у данных пациентов [13].

В исследовании анализ концентрации факторов свертывания крови, влияющих на внешний, внутренний и общий пути свертывания, выявил лишь их незначительное снижение в исследуемых образцах лиофилизированной плазмы.

Также, в этих образцах мы обнаружили увеличение ПВ и АЧТВ, что коррелирует с данными других исследований [17]. Одной из причин, возможно является снижение активности факторов VIII и V. Необходимо отметить, что Фактор VIII является весьма лабильным маркером свертываемости и используется при контроле качества плазмы в Европе и России [18,19].

Леофилизируемая плазма не требует дорогостоящей логистики для хранения и транспортировки, а восстановление требует меньше времени, чем оттаивание свежзамороженной плазмы, вирусинактивированная лиофилизируемая плазма является привлекательным вариантом для обеспечения наиболее важного базового лечения тяжелых коагулопатий в чрезвычайных ситуациях или в районах с невозможностью поддержания холодной цепи. Действительно, ранняя коррекция коагулопатии является ведущей причиной выживаемости пациентов [20].

Плазма является методом выбора для предотвращения и снижения смертности у пациентов с коагулопатией при политравме [21]. Наличие лиофилизированной плазмы в укладках для оказания помощи при чрезвычайных ситуациях и в отделениях скорой помощи, может существенно повысить качество оказания помощи пациентам с тяжелой травмой.

1. Gonzalez EA, Moore FA, Holcomb JB, Miller CC, Kozar RA, Todd SR, Cocanour CS, Balldin BC, McKinley BA. Freshfrozen plasma should be given earlier to patients requiring massive transfusion. *J Trauma* 2007;62:112-9.
2. Hellstern P, Haubelt H. Indications for plasma in massive transfusion. *Thromb Res* 2002;107 Suppl 1:S19-22
3. American Association of Blood Banks, American Red Cross, America's Blood Centers, and Armed Services Blood Program. Circular of information for the use of human blood and blood components. Bethesda (MD): American Association of Blood Banks; 2009.
4. Bundesärztekammer (BÄK). BÄK: cross-sectional guidelines for therapy with blood components and plasma derivatives. *Transfus Med Hemother* 2009;36:345-492 and 2011;38:71
5. Bakaltcheva I, O'Sullivan A M, Hmel P, Ogbu H. Freezedried whole plasma: evaluating sucrose, trehalose, sorbitol, mannitol and glycine as stabilizers. *Thromb Res* 2006.
6. Statement on normal (whole, pooled) human plasma prepared by Committee on Plasma and Plasma Substitutes of the Division of Medical Sciences, National Research Council. *Transfusion* 1968;8:57-9.
7. Vanlandingham D, KeilSh, McElroy K, Pyles R, Goodrich R, Higgs S. Photo-chemical inactivation of chikungunya virus in plasma and platelets using the Mirasol pathogen reduction technology system. *Transfusion* 2013; 53:284-290.
8. Antic A, Stanojkovic Z, Macukanovic-Golubovic L, Jelic M. Evaluation of coagulation factors in fresh frozen plasma treated with riboflavin and ultra violet light. *Vojnosanit Pregl* 2012; 69: 22-26.
9. Technical Regulations on blood safety requirements, its products, bloodsubstitut-ing solutions and technical equipment used in transfusion-infusion therapy. Approved RF Government Decree №29 of 26 Jan 2010. (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12172686/> (Accessed 09.10.16).

10. Ragimov A.A., Shcherbakova G.N. Guide infusion-transfusion therapy. Moscow: Medical Information Agency; 2003. (in Russian)
 11. Sword-Nilsson A.M., Persson P.O., Johnson U., Lethagen S. Factors influencing factor VIII activity in frozen plasma. *Vox Sang.* 2006; 90(1): 33–9.
 12. European Directorate for the Quality of Medicines and Health Care. Guide to the preparation, use and quality assurance of blood components. 18th ed. Strasbourg: Council of Europe Publishing; 2015.
 13. Shuja F, Shults C, Duggan M, Tabbara M, Butt MU, Fischer TH, Schreiber MA, Tieu B, Holcomb JB, Sondeen JL: Development and testing of freeze-dried plasma for the treatment of trauma-associated coagulopathy. *J Trauma* 2008; 65:975–95
 14. Maurin O, Martinaud C, Boulesteix G, Eve O, Bertani A, Goudard Y, Kaiser E: Management of bleeding in a child with haemophilia in Africa with freeze-dried plasma. *Haemophilia* 2012; 18:e38–9
 15. Krutvacho T, Chuansumrit A, Isarangkura P, Pintadit P, Hathirat P, Chiewsilp P: Response of hemophilia A with bleeding to fresh dry plasma. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 1993; 24 Suppl 1:169–73
 16. Shuja F, Finkelstein RA, Fukudome E, Duggan M, Kheirbek T, Hamwi K, Fischer TH, Fikry K, deMoya M, Velmahos GC, Alam HB: Development and testing of low-volume hyperoncotic, hyperosmotic spray-dried plasma for the treatment of trauma-associated coagulopathy. *J Trauma* 2011; 70:664–71
 17. Bakaltcheva I, O'Sullivan AM, Hmel P, Ogbu H: Freeze-dried whole plasma: Evaluating sucrose, trehalose, sorbitol, mannitol and glycine as stabilizers. *Thromb Res* 2007; 120:105–16
 18. Europe Committee on Blood Transfusion: Guide to the preparation, use and quality assurance of blood components: Recommendation No. R(95). 16th edition. Strasbourg, Council of Europe Publishing, 2010, pp 311–29
 19. Постановление Правительства РФ от 22.06.2019 N 797 "Об утверждении Правил заготовки, хранения, транспортировки и клинического использования донорской крови и ее компонентов и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации".
 20. Bickell WH, Wall MJ Jr, Pepe PE, Martin RR, Ginger VF, Allen MK, Mattox KL: Immediate versus delayed fluid resuscitation for hypotensive patients with penetrating torso injuries. *N Engl J Med* 1994; 331:1105–9
 21. Alam HB, Bice LM, Butt MU, Cho SD, Dubick MA, Duggan M, Englehart MS, Holcomb JB, Morris MS, Prince MD, Schreiber MA, Shults C, Sondeen JL, Tabbara M, Tieu BH, Underwood SA, Hemostatic Resuscitation Research Group: Testing of blood products in a polytrauma model: Results of a multi-institutional randomized preclinical trial. *J Trauma* 2009; 67:856–64
-



Научное издание

Наука России: Цели и задачи

Сборник научных трудов по материалам
XIX международной научно-практической конференции
10 февраля 2020 г.

Часть 1



SPLN 001-000001-0577-SR

Подписано в печать 14.02.2020. Тираж 400 экз.
Формат.60x84 1/16. Объем уч.-изд. л.4,37
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович