

# **Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования**

## **05/2023**

СТАНДАРТИЗАЦИЯ  
И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ  
КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ

ЭВОЛЮЦИЯ  
АГЕНТНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ

ИНСТРУМЕНТ  
ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПИ  
ПОСТАВОК



iea.gostinfo.ru

# ИНФОРМАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

## 5/2023 (74)

### УЧРЕДИТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

Российская Федерация, 117418,  
г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, корп. 2

Свидетельство о регистрации СМИ  
Эл № ФС77-85390.

Выдано Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций 13.06.2023.

Журнал является самостоятельным сетевым  
периодическим текстовым научным  
электронным изданием,  
распространяется исключительно  
с использованием информационно-  
телекоммуникационных сетей

### РЕДАКЦИЯ

Руководитель К.В. Костылева  
Редакторы С.П. Арянина, А.О. Баркару,  
О.В. Сергеева

### АДРЕС РЕДАКЦИИ

Российская Федерация,  
117418, Москва,  
Нахимовский пр-т, д. 31, корп. 2  
+7 (495) 531-26-03  
ieastr@gostinfo.ru



РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ  
СТАНДАРТИЗАЦИИ

Журнал «Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования» основан в 2011 году.

Издается Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»).

Журнал осуществляет публикацию статей по теоретическим, техническим, информационным, методическим, организационным, экономическим и другим проблемам технического регулирования и стандартизации.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Перепечатка материалов допускается только с письменного согласия редакции.

При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Подписано в печать 18.01.2024.  
Дата опубликования на сайте журнала  
iea.gostinfo 18.01.2024.

Формат 60 × 90 1/8.  
Усл. печ. л. 6,39.

## СВЕДЕНИЯ О РЕЦЕНЗИРУЕМОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ

ДАТА СОЗДАНИЯ 11.05.2011

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛЮЧЕНИИ  
ИЗДАНИЯ В СИСТЕМУ РОССИЙСКОГО  
ИНДЕКСА НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ  
26.08.2014 №503-08/2014

АДРЕС ОФИЦИАЛЬНОГО САЙТА  
В СЕТИ "ИНТЕРНЕТ" <http://iea.gostinfo.ru/>

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАНДАРТНЫЙ  
НОМЕР СЕРИАЛЬНОГО ИЗДАНИЯ  
(ISSN) 2311-1348

ТЕМАТИКА СТАТЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ  
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ на соискание ученых  
степеней доктора и кандидата наук,  
должна соответствовать следующим  
специальностям научных работников  
(согласно номенклатуре, утвержденной  
приказом Минобрнауки России  
от 24.02.2021 № 118):

- 2.3.8. Информатика и информационные  
процессы (технические науки);

- 2.5.22. Управление качеством  
продукции. Стандартизация. Организация  
производства (технические науки);

- 5.2.23. Региональная и отраслевая  
экономика (экономические науки).

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**БУДКИН Ю.В.**  
председатель, главный редактор журнала, советник генерального  
директора ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук,  
профессор

**БУРЫЙ А.С.**  
заместитель председателя, заместитель начальника отдела научной  
деятельности ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук

### ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

**БЕТАНОВ В.В.**  
член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук (РАРАН),  
заместитель начальника экспертно-аналитического центра  
АО «Российские космические системы», профессор кафедры ФГБОУ ВПО  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,  
доктор технических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт  
стандартизации»

**ГЕРАСИМОВА Е.Б.**  
профессор Департамента бизнес-аналитики Факультета налогов,  
аудита и бизнес-анализа ФГБОУ ВО «Финансовый университет  
при Правительстве Российской Федерации», доктор экономических наук, профессор

**ЖУРАВЛЕВА Т.Б.**  
ученый секретарь ФГБУ «НИЦИ» МИД России,  
доктор экономических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт  
стандартизации»

**ЗВОРЫКИНА Т.А.**  
руководитель Центра научных исследований и технического регулирования  
в сфере услуг АО «Институт региональных экономических исследований»,  
доктор экономических наук, профессор

**ЛЫСЕНКО И.В.**  
генеральный директор ООО «Инженерные системы и технологии, разработка  
и анализ» (ООО «ИСТРА»), доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
главный специалист ФГБУ «Институт стандартизации»

**МИСТРОВ Л.Е.**  
профессор кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» и Центрального филиала «РГУП»,  
доктор технических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт  
стандартизации»

**СТРЕХА А.А.**  
начальник отдела стандартизации в области социальной сферы Департамента  
методического обеспечения стандартизации и инновационных технологий  
ФГБУ «Институт стандартизации», кандидат экономических наук

**СУХОВ А.В.**  
старший научный сотрудник ФКУ «НПО «Специальная техника и связь» МВД  
России, доктор технических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт  
стандартизации»

**ХАЧАТУРЯН А.А.**  
профессор кафедры экономических теорий и военной экономики  
ФГКВУ ВПО «Военный университет имени князя Александра Невского»  
Минобороны России, доктор экономических наук, профессор

# Содержание 5/2023 (74)

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ.

Часть 1. Управление качеством в сфере жилищно-коммунального хозяйства  
Ситников И.И., Фролов В.А., Абрамов П.Е., Журавлева Т.Б., Квасницкий В.Н.

4

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО  
ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ

Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И., Кузнецов А.Б., Беяков В.К.

10

ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПИ ПОСТАВОК

Чуракова Е.Ю.

20

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ  
В ОБЩЕСТВЕННОМ ПИТАНИИ

Глебова Е.В., Саркисян В.Г.

23

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА 3-D ПЕЧАТИ АДДИТИВНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА

Будкин Ю.В.

30

ЭВОЛЮЦИЯ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Часть 1. Архитектура интеллектуального агента

Бурый А.С., Фролов В.А., Куляница А.Л.

38

СВОЙСТВА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ  
НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ

Морозов В.П., Белоусов В.Е., Мистров Л.Е., Сырин А.И.

48

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ.

## Часть 1. Управление качеством в сфере жилищно-коммунального хозяйства

*Статья подготовлена коллективом авторов – сотрудниками ФГБУ «Институт стандартизации»*

**Ситников И.И.**, аспирант, **Фролов В.А.**, д-р техн. наук

**Абрамов П.Е.**, соискатель, **Журавлева Т.Б.**, д-р экон. наук

**Квасницкий В.Н.**, д-р техн. наук

*В статье обсуждается управление качеством услуг в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), где основное внимание уделяется важности стандартов, государственно-частному партнерству (ГЧП) и их влиянию на управление качеством обслуживания населения. Проанализировано, как стандарты в ЖКХ служат основой для единой системы оценки и контроля сервиса, способствуя выравниванию деятельности организаций с установленными нормами. Выделены ключевые принципы управления качеством, такие как ориентирование на клиента.*

*В статье также рассматриваются различные методы управления качеством услуг, включая систему стандартов и систему управления качеством, а также методы непрерывного совершенствования, и их роль в повышении качества сервиса в ЖКХ.*

*Методологической основой исследования являются системный подход, концептуально-логическое моделирование, методы научного прогнозирования. Целью данной статьи является системный анализ и обзор существующей научной и методической базы в области стандартизации и управления качеством в секторе ЖКХ. Основываясь на практическом анализе различных аспектов управления, стандартизации и взаимодействия с частным сектором. Статья направлена на выявление оптимальных подходов к повышению качества предоставляемых услуг в ЖКХ России.*

**Ключевые слова:** жилищно-коммунальное хозяйство, управление качеством услуг, стандартизация, государственно-частное партнерство, непрерывное улучшение, ожидания клиентов, персонал, износ сетей, качество услуг.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные вопросы управления качеством услуг ЖКХ приобретают особую актуальность в свете постоянно растущих потребностей общества. Коммунальные услуги, такие как электроснабжение, водоснабжение, газоснабжение, уборка территории и другие, являются неотъемлемой частью повседневной жизни граждан страны, и качество предоставляемых этих услуг напрямую влияет на уровень жизни.

Актуальность проблемы управления качеством в сфере коммунальных услуг сегодня обусловлена изменениями в обществе, технологическими инновациями, а также ра-

стущими ожиданиями граждан. В условиях современной динамики жизни населения необходимо обеспечивать качеством и стабильностью предоставление коммунальных услуг, учитывая при этом разнообразные потребности и ожидания граждан.

Роль стандартизации для повышения качества жилищно-коммунального обслуживания важно для обеспечения единых и прозрачных стандартов предоставления услуг, что способствует повышению их качества и соответствию ожиданиям населения. Стандартизация в сфере ЖКХ служит ключевым инструментом для согласования и снижения разрывов между ожиданиями потребителей и реальным уровнем предоставляемых услуг.

Поэтому, целью данного исследования является системный анализ особенностей стандартизации и управления качеством в сфере предоставления коммунальных услуг с учетом выявления оптимальных практик и направлений для улучшения данной системы обслуживания населения.

## ОБЗОР СТАНДАРТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ

Стандартизация в области управления качеством коммунальных услуг представляет собой комплексно-системный механизм, нацеленный на создание и поддержание единых технических и организационных стандартов. В рамках этого контекста, стандартизация выходит за пределы простого утверждения технических параметров и охватывает разработку широких норм, правил и процедур, направленных на повышение эффективности и качества коммунального обслуживания [1].

Ключевой аспект стандартизации в управлении качеством данного сервиса заключается в установлении общепринятых стандартов и требований, которым должны соответствовать все этапы предоставления коммунальных услуг. Это включает в себя процессы обслуживания, технические характеристики используемого оборудования, а также последовательность процедур контроля и управления, обеспечения постоянности и заданного уровня качества предоставляемых услуг.

Стандартизация в данном контексте не только ставит целью установление унифицированных параметров, но и создание определенной системы, в рамках которой эти параметры должны функционировать. Это предполагает разработку взаимосвязанных нормативов и правил, учитывающих специфику коммунальных услуг, отвечающих стандартам безопасности, качества и стабильности процессов обслуживания.

Таким образом, стандартизация коммунальных услуг включает в себя не только установление технических стандартов, но и создание всесторонней системы, охватывающей организационные аспекты, процедуры последовательного контроля, обеспечивая тем самым комплексный подход к повышению качества услуг в данной сфере.

Стандарты в сфере коммунальных услуг играют ключевую роль в обеспечении высокого качества предоставляемых услуг. Они представляют собой фундаментальную основу для создания системы оценки и контроля, которая в свою очередь обеспечивает организациям в ЖКХ возможности стабилизации своей деятельности с установленными нормами и стандартами [2]. Роль стандартов простирается далеко за простое соответствие техническим параметрам – они служат инструментом, обеспечивающим комплексно-системный подход к управлению

качеством услуг, а также задач управления объектами недвижимости в целом [3].

Прежде всего, стандарты способствуют повышению уровня прозрачности в процессах предоставления услуг. Это достигается путем установления четких норм и правил, касающихся технических аспектов и организационных процедур. Такая ясность и однозначность создают условия для более четкого восприятия сторонами, как организациями, так и потребителями, того, что ожидается от предоставляемых услуг.

Соблюдение стандартов также играет решающую роль в сокращении разрывов между ожиданиями клиентов и реальным качеством услуг. Это особенно важно в контексте коммунальных услуг, где прозрачность и стабильность являются ключевыми критериями для удовлетворения потребностей граждан. Поддержание высокого качества помогает предотвратить ситуации, когда предоставленные услуги не соответствуют ожиданиям, что в конечном итоге содействует снижению числа конфликтов и жалоб со стороны населения.

Таким образом, роль стандартов в управлении качеством в сфере жилищно-коммунального хозяйства не ограничивается лишь формальным соответствием техническим параметрам. Они выступают как надежный инструмент для формирования и поддержания единых стандартов обслуживания, обеспечивая тем самым стабильность и постоянность в предоставлении услуг в данной отрасли.

Управление качеством в коммунальном секторе представляет собой комплексно-системный подход, основанный на фундаментальных принципах, целью которых является обеспечение эффективности и постоянного совершенствования услуг, предоставляемых населению. Один из ключевых принципов, определяющих основу этого подхода, – это ориентированность на клиента.

В контексте коммунальных услуг ориентированность на клиента подразумевает более чувствительное и внимательное отношение к потребностям и ожиданиям клиентов. Это означает не только предоставление услуг, соответствующих стандартам, но и стремление к превосходству в удовлетворении клиентов. Прозрачность услуг, их своевременность и надежность становятся фундаментальными аспектами, на которых строится взаимодействие с гражданами в сфере коммунального обслуживания [2].

Прозрачность сервиса заключается в ясном представлении клиентам всех аспектов предоставляемых коммунальных услуг, включая процессы, тарифы, их права и ответственности. Это способствует установлению доверительных отношений между поставщиками услуг и потребителями, формирует понимание того, что ожидать, и снижает вероятность конфликтов.

Современное предоставление услуг также играет ключевую роль. Это включает в себя не только точное соблюдение графиков и сроков, но и оперативное реагирование на запросы и проблемы клиентов. Здесь важно не только предоставить услугу вовремя, но и обеспечить оперативное взаимодействие с клиентами, отвечая на их запросы и обеспечивая актуальную информацию для чего сегодня активно используются сетевые социальные ресурсы [4].

Надежность услуг, в свою очередь, означает стабильность и высокую степень функциональности предоставляемых коммунальных сервисов. Это включает в себя отсутствие сбоев, непрерывность поставки услуг, а также готовность и способность оперативно решать любые возникающие проблемы.

Таким образом, ориентированность на клиента в управлении качеством коммунальных услуг представляет собой стратегическое направление, направленное на создание позитивного опыта для клиентов, повышение их удовлетворенности и формирование стойких взаимоотношений между поставщиками и потребителями услуг.

Руководство организации несет на себе ответственность за создание и поддержание эффективных стратегий управления качеством, что требует не только формального утверждения политики, но и активного внедрения ее на всех уровнях предоставления услуг [5].

Руководители должны четко определить, что для них означает качество в предоставлении коммунальных услуг, а затем внедрить это в каждый аспект деятельности. Лидерство здесь означает не только формулирование стратегии, но и создание и поддержание корпоративной культуры, которая будет способствовать достижению этих целей.

Одним из основных аспектов является мотивация персонала. Руководство должно не только объявить о важности качества, но и создать условия, стимулирующие сотрудников к активному участию в процессе управления качеством. Это может включать в себя обучение и развитие персонала, системы поощрений и мотивации, а также обеспечение возможностей для сотрудников высказывать свои идеи и предложения по улучшению качества услуг.

Лидерство также подразумевает создание структуры, в которой каждый член команды осознает свою роль в обеспечении качества услуг. Руководство должно поощрять и поддерживать инициативы по внедрению улучшений, создавать механизмы обратной связи и обеспечивать прозрачность в принятии решений, связанных с управлением качеством.

Неотъемлемой частью системы управления качеством в сфере коммунальных услуг является процессный подход. Этот метод обеспечивает систематическое и структурированное руководство организацией через все этапы пре-

доставления услуги, начиная от разработки до ее фактической поставки, а также последующего анализа и улучшения.

Преимущество такого подхода заключается в том, что он помогает выявлять и устранять неэффективности в организации работы, повышает прозрачность внутренних процессов и обеспечивает более точное соответствие предоставляемых услуг ожиданиям клиентов. Кроме того, процессный подход способствует повышению рационального использования ресурсов, поскольку каждый этап процесса становится предметом внимательного анализа с целью оптимизации.

Одним из ключевых аспектов процессного подхода является выделение взаимосвязей между этапами предоставления услуги. Это позволяет организации не только следить за каждым этапом, но и воспринимать весь процесс как единое целое. Такой комплексный взгляд способствует более глубокому пониманию того, как каждый элемент влияет на общий результат, и где возможны наиболее важные изменения для повышения качества.

Процессный подход также направлен на обеспечение непрерывного совершенствования. Он создает механизмы для постоянного мониторинга и анализа процессов, что позволяет выявлять новые возможности для улучшения и оперативно внедрять корректировки. Такая фокусировка на непрерывном совершенствовании является важным аспектом управления качеством в коммунальном секторе, где изменения в требованиях клиентов или внешние условия могут потребовать быстрой адаптации и совершенствования услуг.

Управление качеством в коммунальном секторе требует применения разнообразных методов и инструментов, направленных на обеспечение высокого стандарта предоставляемых услуг. Одним из ключевых методов, оказывающих существенное воздействие на качество коммунальных услуг, является система стандартов.

Система стандартов вводит единые технические и организационные требования для процессов предоставления услуг в жилищно-коммунальной сфере. Эти стандарты охватывают различные аспекты, начиная от технических характеристик оборудования и заканчивая процедурами контроля и управления. Одним из преимуществ использования стандартов является установление общих норм и правил, что способствует повышению эффективности и единообразия в предоставлении услуг.

Стандартизация в коммунальном секторе предполагает создание единой системы требований, которым должны соответствовать все этапы предоставления услуги. Это включает в себя разработку норм, правил и процедур, которые обеспечивают соответствие высоким стандартам качества. Применение системы стандартов создает основу

для оценки и контроля, упрощает процессы управления, а также способствует повышению прозрачности в деятельности коммунальных организаций.

Единые стандарты качества в коммунальном секторе играют ключевую роль в обеспечении согласованности предоставляемых услуг. Они служат ориентиром для организаций, позволяя им выравнять свою деятельность с установленными нормами и создавать условия для более эффективного управления качеством [6].

Система управления качеством (СУК) представляет собой фундаментальный инструмент в арсенале организаций, стремящихся к повышению качества предоставляемых услуг в коммунальном секторе. Эта система предоставляет структурированный и системный подход к планированию, внедрению, контролю и улучшению всех аспектов процессов, связанных с предоставлением услуг.

Основной целью СУК является создание и поддержание эффективной системы управления, ориентированной на достижение высокого уровня качества. Процесс планирования включает в себя установление целей качества, определение необходимых ресурсов и разработку стратегий для их достижения. Внедрение СУК предполагает принятие и внедрение стандартов качества, создание процедур и инструкций, а также обеспечение обучения персонала.

Последовательный контроль является неотъемлемой частью системы управления качеством. Организации, использующие СУК, регулярно оценивают свои процессы, сравнивая их с установленными стандартами и целями. Это позволяет выявлять потенциальные проблемы, предотвращать дефекты и обеспечивать непрерывное соответствие установленным стандартам качества.

Однако ключевым моментом СУК является постоянное стремление к улучшению. Принцип непрерывного совершенствования включает в себя анализ результатов, выявление областей для улучшения, внесение корректив и реагирование на изменяющиеся условия. Этот цикл непрерывного совершенствования, известный как PDCA (Plan-Do-Check-Act), является основой для эффективного управления качеством в коммунальном секторе.

В начале цикла, на этапе планирования, организация определяет конкретные цели и задачи, связанные с улучшением качества услуг. Это анализ текущего состояния, выявление потенциальных областей улучшения, и разработка конкретных планов действий для достижения поставленных целей.

На следующем этапе, реализации, организация внедряет предпринятые меры и проводит изменения в рамках выбранных стратегий. Обновляются процессы, внедряются новые технологии, обучается персонал, а также произво-

дятся другие действия, направленные на улучшение качества предоставляемых услуг.

Затем следует этап проверки, на котором организация оценивает результаты внедренных изменений, включая сбор и анализ данных, сравнение полученных результатов с установленными целями, и выявление эффективности предпринятых мер.

На последнем этапе, корректировки, организация использует полученные знания и опыт для коррекции стратегии и планов, что создает замкнутый цикл непрерывного улучшения. Этот этап позволяет организации адаптироваться к изменяющимся условиям, учесть новые требования клиентов, и постоянно совершенствовать свои процессы.

Применение данного цикла в контексте коммунальных услуг обеспечивает не только реактивную роль в исправлении недочетов, но и превентивную функцию в предотвращении потенциальных проблем. Непрерывное улучшение становится интегральной частью корпоративной культуры, мотивируя персонал стремиться к совершенствованию и поддержке высокого стандарта предоставляемых услуг в долгосрочной перспективе.

СУК также способствует укреплению внутреннего взаимодействия и коммуникации внутри организации. Структурированный подход к управлению качеством, определение ролей и обязанностей, а также установление ясных процессов и процедур, способствуют формированию единой системы ценностей, направленной на качество предоставляемых услуг.

В итоге, ключевые принципы и методы управления качеством в коммунальном секторе направлены на обеспечение клиентской ориентированности, эффективного лидерства, систематизации процессов и использования современных инструментов, что содействует повышению качества предоставляемых услуг и соответствию высоким стандартам.

Стоит понимать, что стандартизация и управление качеством взаимосвязаны в контексте предоставления коммунальных услуг, создавая взаимодополняющую систему, направленную на обеспечение эффективности и высокого уровня качества. Стандартизация влияет на процессы управления качеством, предоставляя устойчивую основу для определения и измерения критериев качества коммунальных услуг. Установление единых стандартов технических характеристик, процедур обслуживания и контроля обеспечивает рамки, в которых могут эффективно функционировать процессы управления качеством. Стандарты служат ориентиром для управленческих решений, предоставляя четкие ожидания и цели, которые необходимо достичь. Одновременно управление качеством оказывает воздействие на формирование стандартов. Проактивный подход к управлению качеством позволяет организации

вносить предложения и рекомендации по улучшению стандартов, основываясь на практическом опыте и оценке эффективности текущих процессов. Руководство, ориентированное на качество, выступает в роли катализатора для обновления стандартов, адаптируя их к изменяющимся потребностям клиентов и требованиям рынка.

Таким образом, стандартизация и управление качеством образуют взаимодополняющую среду, в которой стандарты служат основой для проведения управленческих мероприятий, а управление качеством влияет на эволюцию и совершенствование этих стандартов. Эта взаимосвязь создает устойчивую основу для постоянного улучшения качества коммунальных услуг в соответствии с современными требованиями и ожиданиями клиентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, стоит отметить, что управление качеством в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) представляет собой сложный и важный процесс, направленный на обеспечение высокого уровня предоставляемых услуг. Стандарты играют ключевую роль в этом процессе, создавая единые критерии и обеспечивая стабильность в оценке качества.

Ориентирование на клиента, лидерство и процессный подход становятся основополагающими принципами эффективного управления качеством в ЖКХ. Внедрение систем стандартов, систем управления качеством, а также методов непрерывного улучшения способствует повышению эффективности организаций, предоставляющих коммунальные услуги.

## Список использованных источников и литературы

1. Мольков Д.С., Мацнева Е.Н., Блонская А.А., Хижняк Т.Е. Стандартизация и управление качеством // Форум молодых ученых. 2020. № 10 (50). С. 487–490.
2. Гузалева С.Ю. Управление качеством жилищно-коммунальных услуг на основе современных стандартов // Экономика и социум. 2015. № 2–1 (15). С. 1454–1458.
3. Журавлева Т.Б., Светашов В.Г. Системный подход к анализу процесса управления функционированием объектов недвижимости // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2017. № 4. С. 220–225.
4. Бурый А.С., Квасницкий В.Н. Когнитивный подход к анализу сетевых коммуникаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2013. № 6 (16). С. 1.
5. Спирина Л.И. Подход к управлению качеством жилищно-коммунальных услуг // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2013. Т. 17, № 2 (55). С. 177–182.
6. Феклистов О.И. Управление качеством жилищно-коммунальных услуг в предпринимательских структурах жилищно-коммунального комплекса // Экономическое возрождение России. 2011. № 4 (30). С. 137–142.



# STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT OF PUBLIC SERVICES.

## Part 1. Quality management in the field of Housing and Utilities Sector

*The article was prepared by a team of authors – employees Russian Standardization Institute*

**Sitnikov I.I.**, PhD student, **Frolov V.A.**, Doctor of Technical Sciences

**Abramov P.E.**, Applicant, **Zhuravleva T.B.**, Doctor of Economics sciences

**Kvasnitskiy V.N.**, Doctor of Technical Sciences

*The article discusses the essence of quality management in the Housing and Utilities Sector (HUS), focusing primarily on the significance of standards, public-private partnerships, and their influence on quality management. The analysis explores how standards in HUS serve as the foundation for a unified assessment and control system, contributing to aligning organizational activities with established norms. Key principles of effective quality management, such as customer orientation, leadership, and a process approach, are identified.*

*The article also examines various quality management methods, including the standards system and quality management system, as well as continuous improvement methods and their role in enhancing the quality of services in HUS.*

*The research is grounded in a systemic approach, conceptual and logical modeling, and scientific forecasting methods. The objective of this article is a systemic analysis and review of the existing scientific and methodological foundation in the field of standardization and quality management in the HUS. Based on practical analysis of various aspects of management, standardization, and interaction with the private sector, the article aims to identify optimal approaches to enhance the quality of services provided in the HUS in Russia.*

**Keywords:** housing and communal services, service quality management, standardization, public-private partnership, continuous improvement, customer expectations, staff, network wear, service quality.

### References

1. Mol'kov D.S., Macneva E.N., Blonskaya A.A., Hizhnyak T.E. Standartizatsiya i upravlenie kachestvom. Forum molodyh uchenykh. 2020. No 10 (50), Pp. 487–490.
2. Guzaleva S.YU. Upravlenie kachestvom zhilishchno-kommunal'nykh uslug na osnove sovremennykh standartov. Ekonomika i socium. 2015. No 2–1 (15), Pp. 1454–1458.
3. Zhuravleva T.B., Svetashov V.G. Sistemnyj podhod k analizu processa upravleniya funkcionirovaniem ob'ektov nedvizhimosti. Vestnik Moskovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta MFYUA. 2017. No 4, Pp. 220–225.
4. Buryi A.S., Kvasnickij V.N. Kognitivnyj podhod k analizu setevykh kommunikacij. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2013. No 6 (16). P. 1.
5. Spirina L.I. Podhod k upravleniyu kachestvom zhilishchno-kommunal'nykh uslug. Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. Vol. 17, No 2 (55), Pp. 177–182.
6. Feklistov O.I. Upravlenie kachestvom zhilishchno-kommunal'nykh uslug v predprinimatel'skikh strukturah zhilishchno-kommunal'nogo kompleksa. Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2011. No 4 (30), Pp. 137–142.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ

**Немковский Г.Б.**, руководитель департамента разработки и внедрения ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД», ассистент кафедры информационных и интернет-технологий Института цифровой медицины ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

**Дорофеева Е.И.**, канд. мед. наук, заведующая по клинической работе отделения хирургии новорожденных Института неонатологии и педиатрии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России

**Кузнецов А.Б.**, заместитель генерального директора по науке ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД», доцент кафедры общей и медицинской генетики МБФ РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России

**Беляков В.К.**, д-р мед. наук, генеральный директор ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД»

*Работа посвящена исследованию особенностей хирургических вмешательств у неонатальных пациентов и требований, предъявляемых в связи с этими особенностями к оборудованию, основываясь на существующие стандарты, предназначенному для регистрации положения хирургического инструмента. В работе приведены расчеты точности позиционирования хирургического эндоскопа, применяемого при указанных типах вмешательств, а также сформулированы методы увеличения числа контролируемых инструментов. Цель работы – формирование требований к устройству для определения, регистрации и визуализации на трехмерной сцене взаимного расположения хирургического инструмента, применяемого в неонатальной хирургии и пациента с учетом особенностей проведения указанных видов вмешательства и анализа изображений точек и участков хирургического вмешательства.*

*В статье сформулированы и обоснованы требования к прототипу хирургического манипулятора, предназначенного для контроля положения эндоскопической камеры, применяемой в процессе хирургического вмешательства у неонатальных пациентов с такими пороками, как бронхолегочная секвестрация (BS) и кистозно-аденоматозная мальформация (CCAM).*

**Ключевые слова:** неонатология, хирургическая навигация, контроль положения эндоскопа, информационный контроль, медицинские изображения, врожденные пороки развития легких.

## ВВЕДЕНИЕ

Текущий уровень развития хирургии предполагает создание новых технических решений для визуализации органов и систем пациента, а также патологических изменений в них, обуславливающих заболевание. Особое значение это имеет для подготовки и проведения хирургических вмешательств в неонатальном периоде. Современная неонатальная хирургия стремится к проведению минимально инвазивных оперативных вмешательств для кор-

рекции врожденных пороков развития. Предпочтение отдается эндоскопическим хирургическим доступам, которые уже доказали свою эффективность, однако они технически сложны и сопровождаются повышенными интраоперационными рисками [1, 2]. Существующие методы исследования и технологии обработки визуальной информации, включающие применение нейронных сетей для сегментации и реконструкции изображений [3], служат основой для решения технической задачи автоматизированного сопровождения работы хирурга в естественной среде и ус-

ловиях дополненной реальности [4], включая модели цифровых двойников [5].

Врожденные пороки развития легких, такие как бронхолегочная секвестрация (BS) и кистозно-аденоматозная мальформация (CCAM) характеризуются наличием участков ткани аномального кистозного строения разного размера, полноценно не участвующих в дыхании и газообмене, что сопровождается высоким риском дыхательной недостаточности и инфекционных осложнений. Радикальный метод лечения – хирургическое вмешательство по удалению аномальных участков легкого – сопряжено с повышенным риском осложнений на этапах поиска, мобилизации и перевязки одного или нескольких крупных аномальных сосудов, по диаметру не уступающих артериям почек и селезенки. Неосторожная мобилизация и неправильная перевязка чреваты массивными кровотечениями из магистрального сосуда организма, которое сложно купировать при традиционном оперативном вмешательстве, а при эндоскопическом – практически невозможно. В лечении врожденной кистозно-аденоматозной мальформации рекомендованным и признанным объемом хирургической помощи является лобэктомия пораженной доли [1, 2, 5].

Интраоперационная навигация позволит значительно снизить риск осложнений, а при выполнении лобэктомии она существенно сократит время разделения здоровых и патологических участков ткани легкого и облегчит как поиск, так и раздельную перевязку и пересечение элементов корня пораженной доли легкого, особенно в нетипичных анатомических случаях.

Ранее нами были разработаны стандарты сбора, систематизации и сегментации диагностической информации для использования в системах автоматизированного анализа трехмерного изображения и хирургической навигации при пороках развития легких и почек у новорожденных детей. Также нами были проведены работы по сегментации серий диагностических изображений в соответствии с разработанными стандартами [9, 10].

При выборе варианта решения для контроля положения хирургического инструмента в пространстве мы столкнулись с неожиданными проблемами: все современные доступные или описанные системы контроля положения хирургического инструмента либо узкоспециализированы и направлены на работу с отдельными и хорошо зафиксированными частями тела (голова, позвоночник, суставы), либо не могут быть вписаны в неонатальную операционную в силу своих размеров, либо используют неоправданные в неонатальной хирургии методы контроля (например, интраоперационные томографические комплексы). В свою очередь, методы исключительно визуального контроля неприменимы в силу малых размеров пациента и особенностей размещения пациента на хирургическом столе. Эти же причины послужили основанием для поиска решения, кото-

рое позволило бы освободить ассистирующего хирурга от необходимости постоянно удерживать камеру эндоскопа.

Опыт разработки интеллектуальных систем для применения в медицине показал их эффективность в принятии сложных многокомпонентных решений [6–8]. Таким образом, при построении системы интраоперационного контроля хирургического инструмента для проведения эндоскопических операций у неонатальных пациентов с врожденными пороками развития легких, мы решали задачу создания прототипа манипулятора, который позволит удерживать камеру эндоскопа, контролировать и записывать положение эндоскопа в ходе проведения хирургического вмешательства.

Основной целью данной работы было определение метода контроля положения хирургического инструмента для создания прототипа манипулятора.

## МЕТОДЫ

Работа выполнена в рамках исследования «Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде» [9], проводимого на базе ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России. Технологический партнер ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД».

Проектирование и изготовление прототипа манипулятора выполнено ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД».

Программное обеспечение прототипа манипулятора разработано на языке Python.

Зажим манипулятора предназначен для видеоголовки Karl Storz Image 1.

Прототип манипулятора установлен и протестирован в отделении хирургии новорожденных ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современные технологии предлагают ряд возможностей в помощи клиницисту для точного выполнения хирургических манипуляций. Известны как готовые и клинически апробированные комплексы, так и частные экспериментальные разработки групп специалистов, применяемые в клинических исследованиях.

Наиболее распространенным методом интраоперационного слежения за линейным инструментом является ультразвуковая навигация. Ее применяют при выполнении пункций объемных образований различной локализации, при условии их непосредственной близости к поверхно-

сти тела. Ограничения применения этого метода – прямое следствие его особенностей: ультразвук дает только двумерную визуализацию органа и патологического очага, а газовая среда, являющаяся основой создания манипуляционного пространства в эндоскопической хирургии, ограничивает распространение ультразвуковой волны и препятствует визуализации. Таким образом, возможностей ультразвукового способа навигации недостаточно для осуществления хирургической помощи детям с врожденными пороками развития внутренних органов.

Особенно распространены системы стереотаксического слежения за инструментом. Основа работы данного метода – принцип фиксации помещенной в электромагнитное поле мишени, где подвижным в системе является инструмент, который передвигается относительно патологического очага. Предоперационные изображения патологического очага в тканях и органах пациента «совмещаются» на экране с изображением пациента. Данный тип интраоперационной навигации представлен рядом промышленных образцов компаний производителей медицинского оборудования: Medtronic's StealthStation, Brainlab's Curve system и Sonowand Invite, Covidien's superDimension, Karl Storz' NBU system, Siemens's Orbic system, Zimmer и другие. В настоящее время большинство оперативных вмешательств у новорожденных детей проводят с применением эндоскопических доступов, но по результатам анализа современной литературы нам не удалось встретить данных об использовании стереотаксической навигации при эндоскопических операциях у пациентов неонатального возраста.

Спектр врожденных пороков развития, требующих хирургической коррекции в неонатальном периоде, достаточно обширен, от непроходимости пищеварительного тракта на разном уровне до объемных образований различной локализации и происхождения. Однако рассмотренные выше методы не могут быть адаптированы к нуждам неонатальной хирургии в силу ряда причин, и прежде всего в связи с отсутствием мишени для воздействия точечного инструмента – зонда, пальпатора, деструктора. Операции по коррекции врожденного порока развития в большинстве своем носят реконструктивный характер, нацелены на восстановление функции органа, выполняются с максимальной осторожностью во избежание травмирования органа-мишени и соседних структур.

Одной из основных особенностей проведения хирургических вмешательств в неонатальном возрасте является малый размер пациента, рост и вес которого в норме не превышает 606 мм/6600 г у мальчиков и 590 мм/6200 г у девочек соответственно. Необходимо также понимать, что, специализируясь на врожденных пороках развития, неонатальный хирург редко имеет дело с крупными детьми, и рост пациента зачастую не достигает 500 мм.

Стандартный хирургический стол, применяемый в неонатальной хирургии, обычно имеет размеры рабочей поверхности 500 × 700 мм. В зависимости от плана вмешательства размещение неонатального пациента на столе может производиться разными способами. Зачастую пациент укладывается вдоль короткой стороны стола (рис. 1) или под углом 45 градусов.

После размещения на столе и подключения к оперативной аппаратуре, пациент фиксируется стреч-пленкой и закрывается простынями (рис. 1).



Рис. 1. Размещение, подготовка и процесс хирургического вмешательства у неонатального пациента

По завершении подготовки к вмешательству, у пациента открытым остается операционное поле, размер которого составляет примерно 10 × 10 см. Далее, к хирургическому столу перемещаются эндоскопическая стойка, пост операционной сестры и пост анестезиолога.

Ввиду ограниченности места, ассистент хирурга, выполняющий в ходе вмешательства задачу удержания и изменения положения эндоскопа, вынужден располагаться у операционного стола в позиции, которую позволит занять размещение пациента (рис. 1).

Таким образом, интраоперационное использование комплексов хирургической навигации в неонатальной хирургии врожденных пороков легких налагает ряд существенных ограничений, обуславливающих ряд специфических требований к оборудованию, применяемому в ходе вмешательства. На основании вышеизложенного нами были сформулированы следующие требования к разрабатываемому прототипу манипулятора:

- аппаратное решение должно содержать минимальное достаточное число сочленений различной степени подвижности с установленными в них отдельными модулями, определяющими текущее положение сочленения (энкодерами) и работающего в паре с управляющим модулем;

- в зависимости от конфигурации операционной, могут быть предусмотрены различные компоновки и способы крепления (расположения) манипулятора. Оптимальным мог бы быть вариант потолочного крепления, но для прототипа следует рассмотреть крепление к столу или напольную установку;
- манипулятор должен обеспечивать возможность смены зажима видеоголовки эндоскопа. В нашем распоряжении имелся набор эндоскопических инструментов производства Karl Storz с видеоголовкой типа Image 1 NX;
- сочленения манипулятора должны быть оснащены тормозными системами, позволяющими фиксировать положение рычагов манипулятора;
- каждое сочленение манипулятора должно быть оснащено устройством, определяющим положение этого сочленения во всех доступных сочленению степенях свободы.

Нами был сконструирован и произведен прототип манипулятора (рис. 2), имеющий 6 действующих степеней свободы. Поворотная рама служит для имитации потолочного крепления манипулятора и оснащена отдельным тормозным устройством. Изменение положения поворотной рамы после размещения пациента не предусмотрено. Привязка манипулятора к хирургическому столу производится после фиксации поворотной рамы в положении, подходящем для вмешательства. Система противовесов позволяет добиться плавного и легкого управления прототипом манипулятора. В конструкторском прототипе предусмотрена возможность перестановки шкивов вращения первых двух рычагов для подбора оптимальных сочетаний габаритных характеристик рычагов.

Нашей первой задачей стало определение положения конечного сочленения относительно нулевой точки. Математически, решение сводится к задаче суммирования векторов в трехмерном пространстве. Именно такими векторами могут представлены все части конструкции ма-

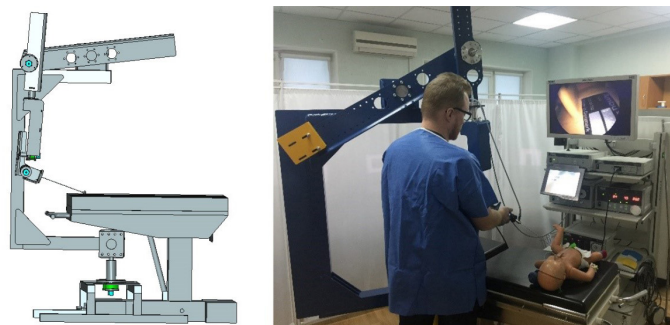


Рис. 2. Визуализация и кинетическая модель манипулятора

нипулятора. Таким образом, вся конструкция может быть представлена в виде системы векторов. Поскольку каждый элемент конструкции имеет не более трех степеней свободы и для каждого элемента конструкции количество степеней свободы и диапазоны движения известны заранее, можно считать, что изменения углов отклонения от осей  $x, y$  (при доступности данных степеней свободы) соответствует отклонению штифта сочленения от нулевого (центрального) положения. Изменение угла отклонения по оси  $z$  соответствует повороту составной части манипулятора вокруг своей оси [11].

При этом угол поворота вокруг своей оси предыдущей составной части манипулятора будет служить поворотной поправкой для направления вектора следующей составной части манипуляционного блока, т.е. вектор следующего манипуляционного блока будет получен в результате умножения вектора направления, полученного от управляющего компьютера на матрицу поворота вида:

$$M(\hat{v}, \theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta + (1 - \cos\theta)x^2 & (1 - \cos\theta)xy - (\sin\theta)z & (1 - \cos\theta)xz + (\sin\theta)y \\ (1 - \cos\theta)yx + (\sin\theta)z & \cos\theta + (1 - \cos\theta)y^2 & (1 - \cos\theta)yz - (\sin\theta)x \\ (1 - \cos\theta)zx - (\sin\theta)y & (1 - \cos\theta)zy + (\sin\theta)x & \cos\theta + (1 - \cos\theta)z^2 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

где  $\hat{v} = (x, y, z)$  – нормализованный вектор оси вращения, полученный от ПО управляющего компьютера манипулятора, а  $\theta$  – угол поворота.

Таблица 1

#### Фактические размеры рычагов тестового манипулятора

№ пп	НАИМЕНОВАНИЕ	ОСИ ВРАЩЕНИЯ	ЗНАЧЕНИЕ (мм)	ОБЩАЯ ДЛИНА РЫЧАГА
1	Рычаг 1 (плечевой рычаг манипулятора)	X	395,2	1701,4
2	Рычаг 2 («Локоть» манипулятора)	Y, Z	698,5	1306,2
3	Рычаг 3 («Кисть» манипулятора от X до Y)	X	100,6	607,7
4	Рычаг 3 («Кисть» манипулятора от Y до зажима видеорегистратора)	Y	97,3	507,1
5	Зажим видеорегистратора с камерой Carl Storz Image 1 NX	Z	159,7	409,8
6	Оптика KARL STORZ HOPKINS®II передне-бокового видения 30°	-	250,1	250,1

Таким образом, в общем виде, вектор, соответствующий положению хирургического инструмента, зафиксированного в зажиме манипулятора, вычисляется согласно формуле:

$$v_{instr} = L_{instr} \sum_{i=1}^n L_i * \hat{v}_i * M(\hat{v}_{i-1}, \theta_{i-1}), \quad (2)$$

где  $v_{instr}$  – вектор положения хирургического инструмента,  $L_i$  – линейный размер,  $\hat{v}_i$  – нормализованный вектор оси вращения,  $\theta_i$  – угол поворота каждой составной части манипулятора.  $\theta_0 = 0, \hat{v}_0 = (0,0,0)$ .

Линейные размеры составных частей прототипа манипулятора (от центра вращения до центра вращения) приведены в табл. 1.

Измерения линейных размеров производились средствами измерения с точностью  $\pm 0,05$  мм.

Абсолютная погрешность позиционирования манипулятора (помимо погрешностей изготовления и люфтов) будет зависеть от точности энкодеров, примененных в каждом из сочленений. Так, для сочленения с 1 степенью свободы при применении поворотных энкодеров с абсолютной погрешностью  $\pm \alpha$  и длиной рычага  $a$  линейная погрешность одного сочленения с осями вращения X и Y составит  $\Delta M = \pm(\sum_{i=1}^n \Delta a_i + \sin \alpha * \sum_{i=1}^n a_i)$ .

Соответственно, оценка сверху совокупной абсолютной линейной погрешности системы из n сочленений составит:

где  $a_i$  – полная длина рычага,  $\Delta a_i$  – погрешность измерения длины рычага. В тестовом образце первоначально нами были использованы энкодеры, дающие 800 импульсов на оборот, погрешность этих энкодеров составляла  $\Delta enc = \pm \frac{360}{1600} = 0,225^\circ$ .

Совокупная абсолютная линейная погрешность для тестового манипулятора с размерами согласно табл. 1 составит  $\Delta M \approx \pm 16,37$  мм.

Такая погрешность приемлема для проверки работоспособности вычислительной части программного обеспечения. Для полноценных испытаний прибора мы заменили энкодеры на прецизионные с заявленной точностью  $\pm 30''$  ( $1,45 \times 10^{-4}$  рад). Оценка сверху погрешности для прибора с данными энкодерами составила  $\Delta M \approx \pm 0,361$  (мм).

Разумеется, говорить о полноценном контроле событий в операционном поле можно только в случае осуществления трекинга не только инструмента (эндоскопа), зафиксированного в манипуляторе, но и прочих инструментах, находящихся в операционном поле. Поэтому нами был проработан вопрос дополнения кинетической системы контроля визуальной составляющей с использованием стереокамер.

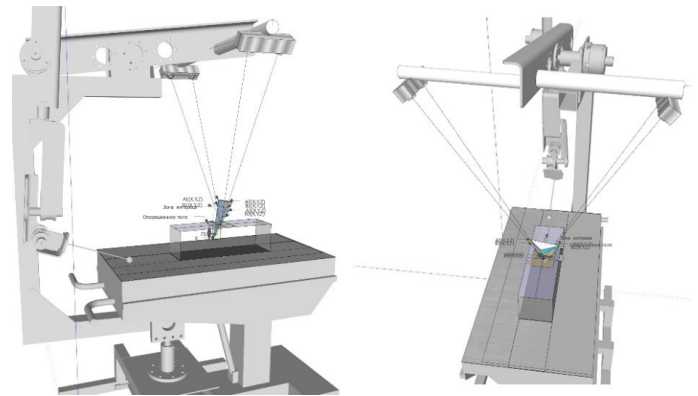


Рис. 3. Дополнение системы контроля стереокамерами

Схема координат и расположение точек наблюдения за инструментом представлена на рис. 3.

Пример расположения инструментов в операционном поле показан на рис. 4.

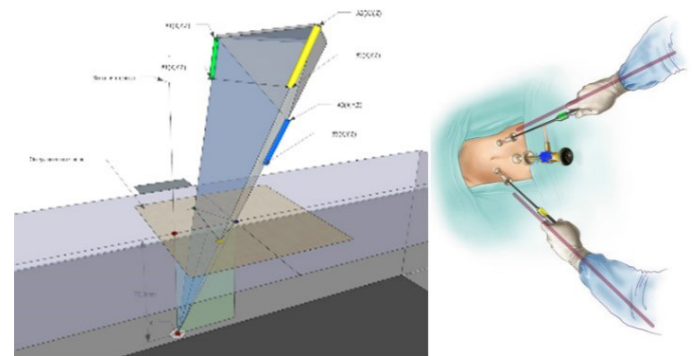


Рис. 4. Пример расположения инструментов в операционном поле

На рис. 5 показана схема видимости точек A(A\_X, A\_Y, A\_Z) и B(B\_X, B\_Y, B\_Z) инструмента в матрицах камер 1 и 2.

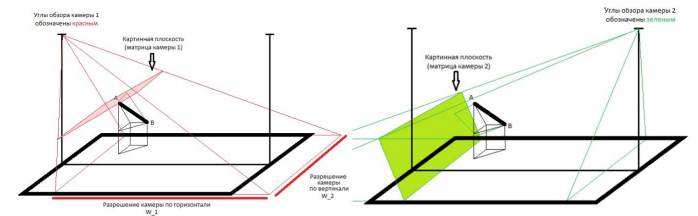


Рис. 5. Схема видимости точек A и B инструмента в матрицах камер 1 и 2

Примем пиксели камеры как квадратные, а угол обзора камеры как угол в горизонтальной плоскости.

Обозначим номер пикселя, в котором мы определили точку A:

для камеры 1  $A_{W_{C_1}}$  – по горизонтали,  $A_{H_{C_1}}$  – по вертикали;

для камеры 2  $A_{W_{C_2}}$  – по горизонтали,  $A_{H_{C_2}}$  – по вертикали.

Обозначим номер пикселя, в котором мы определили точку В:

для камеры 1  $B_{W_{C_1}}$  – по горизонтали,  $B_{H_{C_1}}$  – по вертикали;

для камеры 2  $B_{W_{C_2}}$  – по горизонтали,  $B_{H_{C_2}}$  – по вертикали.

Также нам известны конструктивные углы установки камер 1 и 2 относительно стола.

Предположим, что конструктивно мы можем добиться установку одной камеры относительно другой ровно по оси X ( $\Psi = 0$ ) и без крена ( $\Gamma = 0$ ), предполагается возможность независимой настройки вертикальных углов установки камер 1 и 2. Это необходимо для регулировки объема отслеживаемой зоны интереса. Обозначим вертикальные углы, соответственно, для камеры 1 и для камеры 2.

Таким образом, нам известны конструктивные параметры системы  $H, L, D$ , известны номера пикселей по вертикали и по горизонтали для наблюдаемого инструмента с обеих камер:

■ для точки А:  $A_{W_{C_1}}, A_{H_{C_1}}, A_{W_{C_2}}, A_{H_{C_2}}$ ;

■ для точки В:  $B_{W_{C_1}}, B_{H_{C_1}}, B_{W_{C_2}}, B_{H_{C_2}}$ .

Известны параметры разрешения матриц камер по горизонтали и вертикали:  $W_C$  и  $H_C$  – соответственно.

Известен оптический угол камеры по горизонтали:  $A_W$ .

Требуется выразить через известные величины координаты точек А и В в системе координат XYZ стола:

■  $A_X, A_Y, A_Z$ ;

■  $B_X, B_Y, B_Z$ .

Произведя вычисления, получим финальные аналитические формулы для искомых величин – координат в прямоугольной связанной с операционным столом системе координат точек:  $A = \{A_X, A_Y, A_Z\}$ ,  $B = \{B_X, B_Y, B_Z\}$

Точка А:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_X = \frac{L \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{2A_{XY}}) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{1A_{XY}})}{\left(1 + \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{2A_{XY}})}{\operatorname{tg}(\alpha_{1A_{XY}})}\right)}, \\ A_Y = H - \frac{L \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{2A_{XY}}) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{1A_{XY}})}{\left(\operatorname{tg}(\alpha_{1A_{XY}}) + \operatorname{tg}(\alpha_{2A_{XY}})\right)}, \\ A_Z = D - \operatorname{tg}(\beta_{A_{C_1}}) \cdot \sqrt{A_Z^2 + A_X^2} \end{array} \right. \quad (4)$$

Точка В:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_X = \frac{L \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{2B_{XY}}) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{1B_{XY}})}{\left(1 + \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{2B_{XY}})}{\operatorname{tg}(\alpha_{1B_{XY}})}\right)}, \\ B_Y = H - \frac{L \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{2B_{XY}}) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{1B_{XY}})}{\left(\operatorname{tg}(\alpha_{1B_{XY}}) + \operatorname{tg}(\alpha_{2B_{XY}})\right)}, \\ B_Z = D - \operatorname{tg}(\beta_{B_{C_1}}) \cdot \sqrt{B_Z^2 + B_X^2} \end{array} \right. \quad (5)$$

Выведем аналитическую формулу оценки точности. Оценка будет проводиться для одной камеры, квадратной площадки с заданной стороной А и следующих параметров:

- А – сторона площадки наблюдения;
- В – размер стороны матрицы в пикселях (матрица квадратная);
- Н – высота крепления матрицы.

Для упрощения будем считать, что камера расположена строго вертикально над наблюдаемой площадкой. Для проведения оценки угол расположения матрицы относительно площадки наблюдения не принципиален.

Схема определения размеров наблюдаемых «кусочков» через проекционную плоскость матрицы камеры представлена на рис. 6.

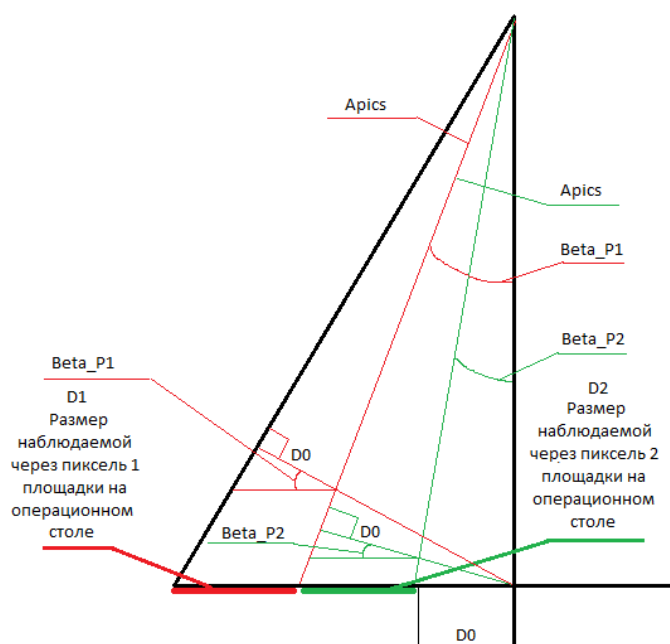


Рис. 6. Определение размеров наблюдаемых объектов

Обозначения на рис. 6:

- $A_{\text{pics}}$  – угловой размер пикселя матрицы камеры;
- $\text{Beta}_{p_i} (\beta_{p_i})$  – угол от центра матрицы до одного из лучей угла, под которым происходит наблюдение через пиксель проекционной матрицы на объект;
- $D_i$  – линейные размеры наблюдаемой через этот пиксель проекции чего бы то ни было на проекционную плоскость матрицы камеры;
- $i$  – номер пикселя от центра матрицы к краю.

Заметим, что для  $D_0$  – одна из сторон прямоугольного треугольника, образованного углом  $A_{\text{pics}}$  и  $D_0$  будет высота  $H$ . Тогда определим  $D_0$ :

$$\text{tg}(A_{\text{pics}}) = \frac{D_0}{H}, \text{ или } D_0 = \text{tg}(A_{\text{pics}}) * H. \quad (6)$$

Заметим, что  $D_0$  для всех последующих пикселей будет являться катетом в прямоугольном треугольнике, образованном  $D_0$  и искомой величиной  $D_i$ .

$$\text{Вычислим } D_i: \beta_{p_i} = A_{\text{pics}} * i; \cos(\beta_{p_i}) = \frac{D_0}{D_i}; D_i = \frac{D_0}{\cos(\beta_{p_i})}.$$

Таким образом, достаточно один раз последовательно найти все метрические размеры для каждого пикселя матрицы для заданной высоты  $H$  перед началом работы (мы предполагаем, что во время работы параметры  $H, A, B$  изменяться не будут).

Суммарный угол обзора камеры  $\text{Alfa} (\alpha)$  получается из линейных заданных размеров зоны наблюдения:

$$\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{A}{H}, \quad (7)$$

следовательно

$$\alpha = 2 * \arctg\left(\frac{A}{2H}\right). \quad (8)$$

Также заметим, что для  $D_N$  (последнего пикселя) угол, тогда и с учетом (6)–(8):

$$D_N = \frac{D_0}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}; \quad (9)$$

$$D_N = H * \frac{\text{tg}(A_{\text{pics}})}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Или, если в текущих обозначениях учесть, что

$$A_{\text{pics}} = \frac{\alpha}{B}: D_N = H * \frac{\text{tg}\left(\frac{\alpha}{B}\right)}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Численная оценка исходя из предполагаемых параметров использования системы:

Выберем некоторые произвольные значения параметров (но сравнимые с предполагаемыми параметрами реальной системы) для проведения оценки:

$A = 0,5$  м – сторона площадки наблюдения.

$B = 1500$  пикс – размер стороны матрицы в пикселях (матрица квадратная).

$H = 2$  м – высота крепления матрицы.

Подставив числовые значения, получим

$$D_N = 2 * \frac{\text{tg}\left(2 * \frac{\arctg\left(\frac{0,5}{(2*2)}\right)}{1500}\right)}{\cos\left(\arctg\left(\frac{0,5}{(2*2)}\right)\right)} \approx 0,00033 \text{ (м)}.$$

Таким образом, самый «неточный» пиксель при заданных параметрах будет иметь линейные размеры на операционном столе примерно 0,00033 м, или 0,33 мм.

С учетом погрешности позиционирования (межпиксельный сдвиг точки) на матрице следует брать ошибку равную удвоенному пикселю, т.е. ошибка, которая пойдет на вход математической модели восстановления позиции будет равна.

### ВЫВОДЫ

В работе над данной задачей нами была показана практическая достижимость построения хирургического манипулятора на выбранных нами принципах, позволяющего регистрировать положение хирургического эндоскопа в ходе эндоскопических вмешательств у пациентов neonatalного возраста.

Кроме того, мы показали возможность дополнения данной системы компонентом видеонаблюдения, что, в свою очередь, позволит контролировать в ходе вмешательства не только собственно эндоскоп, но и дополнительные инструменты, применяемые в ходе вмешательства.

Так как при расчетах никак не учитывались данные о расстоянии между маркерами на инструменте, то это открывает возможности для маркировки различных инструментов через задание разного расстояния между маркерами  $A$  и  $B$ .

Используя данные о предполагаемой ошибке и включив двойное резервирование для позиционирования маркеров для случая распознавания типа инструмента, мы можем рассчитать примерное количество распознаваемых



системой инструментов. Для одновременно использования нескольких инструментов в поле наблюдения необходимо разделить маркеры А и В по цветовым группам. Например, для 3-х инструментов использовать три пары А и В, таких что:

$A_1, B_1$  – зеленые оттенки.

$A_2, B_2$  – красные оттенки.

$A_3, B_3$  – синие оттенки.

Предел разбиения по цветам будет зависеть от цветовой чувствительности матриц камер. Предварительно, для 8-ми битного цвета можно предположить уверенное определение и различение не менее 3-х инструментов в поле зрения системы.

В настоящее время планируется дальнейшее развитие системы с проведением исследований в части построения математической модели изменений трехмерной модели пациента в соответствии внутренними (дыхание, сердцебиение) и внешними (манипуляции хирургов) изменениями, наблюдаемыми в ходе вмешательства.

#### Список использованных источников и литературы

1. Исаков Ю.Ф., Володин Н.Н., Гераськин А.В. Неонатальная хирургия. – М.: Династия, 2011. – 680 с.
2. Разумовский А.Ю., Мокрушина О.Г. Эндохирургические операции у новорожденных. – М.: МИА, 2015. – 344 с.
3. Чайка К.В., Шестопалов Р.П. Оценивание качества обучения нейросетевых алгоритмов обработки информации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 2 (60). С. 17–26.
4. Polites S.F. et al. Thoracoscopic Vs open resection of congenital cystic lung disease-utilization and outcomes in 1120 children in the United States // Journal of pediatric surgery. 2016. Т. 51. No 7. Pp. 1101–1105.
5. Бурый А.С. Цифровые двойники как основа парадигмы развития прикладных информационных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6 (70). С. 24–32.
6. Taghizadeh A. Pediatric Urology: Contemporary Strategies from Fetal Life to Adolescence. Verlag Mailand: Springer. 2015. 402 p.
7. Емелин И.В., Зингерман Б.В., Лебедев Г.С. О стандартизации структуры электронных медицинских данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8, № 12. С. 18–24.
8. Lebedev G., Klimenko H., Kachkovskiy S., Konushin V., Ryabkov I., Gromov A. Application of artificial intelligence methods to recognize pathologies on medical images // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 126. Pp. 1171–1177. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.055>
9. Dorofeeva E.I., Tumanova U.N., Degtyarev D.N. [et al.] Features of the diagnostic information processing for congenital lung malformations in newborns for the automated analysis and surgical navigation Systems // Procedia Computer Science, Belgrade, 03–05 sep. 2018 year. Vol. 126. – Belgrade: Elsevier B.V., 2018. Pp. 1178–1186. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.058>. 2018
10. Podurovskaya Y.L., Balashov I.S., Bychenko V.G. [et al.] The original technique of the collection and adaptation different types of diagnostic information for congenital urinary malformations in newborns for the systems of automated analysis of three-dimensional images and surgical navigation // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 126. Pp. 1216–1223.
11. Tack P. et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review // Biomedical engineering online. 2016. Т. 15, No 1. Pp. 1–21

# INFORMATION PROVISION FOR THE TASKS OF POSITIONING A SURGICAL INSTRUMENT DURING ENDOSCOPIC INTERVENTIONS

**Nemkovskiy G.B.**, Head of R&D, WESTTRADE LTD, Assistant professor of Department of Informational and Internet Technologies I. M. Sechenov First Moscow State Medical University Ministry of Healthcare of the Russian Federation

**Dorofeeva E.I.**, Ph.D.(Medicine), Head of Clinical Work, Department of Neonatal Surgery, FSBI «National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov» Ministry of Healthcare of the Russian Federation

**Kuznetsov A.B.**, Deputy CEO for Science, WESTTRADE LTD, Moscow, Russia; Associate Professor, Department of General and Medical Genetics MBF RNIMU named after. N.I. Pirogov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

**Belyakov V. K.**, D.Sc. (Medicine), CEO WESTTRADE LTD

*This work outlines pivotal features of surgical interventions in neonatal patients and requirements imposed on the equipment designed to track the position of the surgical instrument during such interventions. This paper presents accuracy calculations for a surgical endoscope positioning during these types of interventions, and formulates possible methods for increasing the number of controlled instruments.*

*The main goal of this paper is to formulate requirements for an instrument capable of three-dimensional identification, registration and visualization of a relative position of a patient and surgical instrument used in neonatal surgery, taking into account the specifics of these types of intervention. This paper outlines and justifies the requirements for a surgical manipulator prototype for controlling the position of the endoscopic camera used during surgical intervention in patients with such conditions as bronchopulmonary sequestration (BS) and cystic adenomatous malformation (CCAM).*

**Keywords:** neonatology, surgical navigation, endoscope position tracking, information control, medical imaging, congenital lung malformations.

## References

1. Isakov U.F., Volodin N.N., Geraskin A.V. ed. Neonatal surgery. Moscow: Dynasty Publ., 2011. 680 p.
2. Razumovsky A.Yu., Mokrushina O.G. Endosurgical operations in newborns. Moscow: MIA Publ., 2015. 344 p.
3. Chajka K.V., Shestopalov R.P. Ocenivanie kachestva obucheniya nejrosetevykh algoritmov obrabotki informacii. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2021, No 2 (60), Pp. 17–26.
4. Polites S.F. et al. Thoracoscopic Vs open resection of congenital cystic lung disease-utilization and outcomes in 1120 children in the United States. Journal of pediatric surgery, 2016, vol. 51, No. 7, Pp. 1101–1105.
5. Buryi A.S. Cifrovye dvojniki kak osnova paradigmy razvitiya prikladnykh informacionnykh sistem. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, No 6 (70), Pp. 24–32.
6. Taghizadeh A. Pediatric Urology: Contemporary Strategies from Fetal Life to Adolescence. Verlag Mailand: Springer, 2015. 402 p.
7. Emelin I.V., Zingerman B.V., Lebedev G.S. About structure of electronic health data standardization. Journal Information-measuring and Control Systems, 2010, vol 8, No 12, Pp. 18–24.

8. Lebedev G., Klimenko H., Kachkovskiy S., Konushin V., Ryabkov I., Gromov A. Application of artificial intelligence methods to recognize pathologies on medical images // *Procedia Computer Science*, 2018, Vol. 126, Pp. 1171–1177. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.055>
9. Dorofeeva E.I., Tumanova U.N., Degtyarev D.N. [et al.] Features of the diagnostic information processing for congenital lung malformations in newborns for the automated analysis and surgical navigation Systems. *Procedia Computer Science*, Belgrade, 03–05 sep. 2018 year. Belgrade: Elsevier B.V., 2018, vol. 126, Pp. 1178–1186. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.058>. 2018
10. Podurovskaya Y.L., Balashov I.S., Bychenko V.G. [et al.] The original technique of the collection and adaptation different types of diagnostic information for congenital urinary malformations in newborns for the systems of automated analysis of three-dimensional images and surgical navigation. *Procedia Computer Science*. 2018, vol. 126, Pp. 1216–1223.
11. Tack P. et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomedical engineering online*. 2016, vol. 15, No 1, Pp. 1–21.

# ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПИ ПОСТАВОК

**Чуракова Е.Ю.**, соискатель, старший преподаватель каф. 904, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (ФГБОУ ВО МАИ (НИУ))

*Развитие рынка, растущая конкуренция требуют постоянного улучшения, развития и улучшения качества продукции/услуг, ставя перед организацией задачи, направленные на совершенствование в разных направлениях деятельности для усиления своих рыночных позиций. Одной из ветвей управления является логистика цепей поставок, их оптимизация, способность адаптироваться и изменяться. Выстраивание устойчивых, длительных, добросовестных взаимоотношений с поставщиками, являющихся одним из звеньев цепи поставок, на котором в некотором случае базируется весь производственный процесс, является одним из ключевых пунктов, на которые не обходимо обратить внимание еще на этапе проектирования. Предлагаемый инструмент оптимизации позволяет визуально оценить возможности нескольких потенциальных партнеров по весомым критериям заказчика и выбрать наилучшего и/или принять решения об оптимизации цепи поставок с поставщиком находящемся на пограничном уровне.*

**Ключевые слова:** цепи поставок, развитие, оптимизация, поставщики.

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие рынка, неизбежное ужесточение конкуренции требуют улучшения качества продукции и уровня услуг, оказываемых потребителю, ставя перед производителем (изготовителем) новые задачи, направленные на совершенствование в разных направлениях деятельности для усиления своих рыночных позиций. Одним из таких направлений является закупочная деятельность, которое любая компания/предприятие стремится усовершенствовать и оптимизировать таким образом, чтобы оставаться конкурентоспособным участником рынка.

Закупочная деятельность является многосоставной цепью, их звенья отличаются широким разнообразием количественных параметров и качественных характеристик [1], одним из таких звеньев является цепь поставок.

Цепь поставок – система процессов, определяющая формирование информационных, материальных и финансовых потоков от поставщиков до конечных потребителей [2]. Цепи поставок тесно связаны с производством, маркетингом, продажами, финансами и другими подразделениями компаний

Гибкая и эффективная цепь поставок сегодня – это одно из самых основных конкурентных преимуществ компании в любой отрасли и на любом рынке. Таким образом, деятельность, направленная на управление цепями поставок, является не менее важной в продвижении продукции/услуги, чем маркетинг.

Основные процессы, входящие в процесс управления цепями поставок это прогнозирование, планирование, за-

купка сырья и материалов, производство, складирование, доставка, управление ценами на логистические услуги и распределение продукции. Закупка сырья и материалов – это процесс снабжения предприятия сырьем и материалами.

## ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Усиление конкуренции, глобализация рынков, развитие инновационных технологий привели к изменению относительной важности различных критериев выбора поставщиков, а также к появлению новых. Наряду с традиционными критериями, такими как качество, своевременность поставок, цена, обслуживание, технологические возможности, производственные мощности, стали актуальными новые: надежность, стремление к долговременным партнерским отношениям, постоянное совершенствование, грамотное управление цепочками поставок [3].

В настоящее время можно выделить три типа оценки поставщиков:

- использование общедоступных источников для сбора информации о поставщике;
- оценка результативности поставщика после поставки товаров/выполнения работ/предоставления услуг;
- аудит поставщика до заключения договора или совершения платежей.

Проведение аудитов поставщиков до заключения договора или до совершения платежей является важным инструментом предприятия (изготовителя), выступающего в роли заказчика, поскольку дает возможность оценить способность поставщика производить качественную продукцию в соответствии с графиком и без финансовых потерь. Система оценки поставщиков используется многими

компаниями во всем мире. Данный процесс носит синергический эффект и обеспечивает непрерывное совершенствование организаций, входящих в цепочку поставок [3].

Стремление лучше организовать производство, сделать его более эффективным и рентабельным требует от менеджера, практикующего в области логистики, умения и навыков использования инструментов экономического анализа и оптимизации моделей логистических систем и цепей поставок [5].

Анализ современных тенденций, допущений и ограничений, предъявляемых к оценке поставщиков показывает, что определение вектора аудита поставщиков  $X^* \in X_{\text{доп}}$ , где  $X_{\text{доп}}$  – множество допустимых вариантов аудита есть сложная многокритериальная задача. Ее в общем виде можно сформулировать так: определить вектор аудита поставщиков  $\bar{X}^*$ , состоящий из элементов, которым соответствует минимальное значение целевой функции  $F(x; u)$ , связывающей параметры и характеристики аудита поставщиков на множестве ограничений. Целевая функция  $F(x; u)$  определяет трудозатраты на проведение аудита поставщика и поставляемой им продукции. Минимизация целевой функции  $F(x; u)$  необходима для снижения трудозатрат на аудиты и рисков негативных изменений систем менеджмента поставщиков при любом значении  $X = (x_1; \dots; x_i)$ .

С целью упрощения задачи используется следующий подход: эффективность управления цепями поставок можно оценить по значениям некоторого набора частных критериев, определяющих концепцию цепи поставки на множестве ограничений  $U$ .

Исходя из данного подхода математическая постановка задачи, как задачи многокритериальной дискретной оптимизации, имеет вид:

$$X^* = \text{Arg min } F(x; u); x \in X, u \in U \quad (1)$$

Характерная особенность процесса оптимизации – его циклический или итеративный характер, который отражает современные требования к анализу и проектированию сложных систем [4].

Визуализировать выше поставленную задачу можно с помощью построения лепестковой диаграммы. Данная схема позволяет уже на этапе отбора принять тактически верное управленческое решение по работе с таким поставщиком. Для примера, возьмем 6 критериев отбора поставщиков:

- 1 – безопасность поставляемого продукта;
- 2 – влияние задержек поставки на производственную деятельность;
- 3 – сложность поставляемого продукта;
- 4 – разработка продукта;
- 5 – стоимость;
- 6 – сроки поставки.

Определим единичную зону «идеальный поставщик» как область, в которой располагается выбранный нами поставщик по выбранным нами критериям, сотрудничество с таким поставщиком будет успешным.

Рассмотрим некоего поставщика (на рис. 1 представлен коричневым цветом), который по первым четырем критериям подходит для работы, но у него есть неудовлетворительные значения в работе по 2 важным критериям, которые мы выбрали. Решая задачу по оптимизации (смотрите выражение 1), мы придем к результату, представленному на рис. 2.

Использование инструмента оптимизации показывает, что для каждого заказчика существует такое значение требований, которое обеспечивает наиболее приемлемые с точки зрения вектора аудиторских решений и обеспечивает подбор «идеального» поставщика под конкретные потребности компании. «Идеальным» поставщиком будет являться компания, которая будет соответствовать всем требованиям предприятия-заказчика. Предлагаемый инструмент оптимизации управления подбором поставщиков



Рис. 1. Лепестковая диаграмма поставщика до оптимизации



Рис. 2. Лепестковая диаграмма поставщика после оптимизации

универсален для всех отраслей производства, что положительно влияет на управление цепью поставок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный инструмент оптимизации позволяет выбрать поставщика до заключения с ним до-

говорных отношений, тем самым налаживая партнерские отношения с поставщиками, заинтересованными в долгосрочных взаимоотношениях, что приводит к улучшению и устойчивости цепи поставок компаний. Важно помнить, что уровень развитости системы управления цепью поставок является основным фактором в конкурентной борьбе между предприятиями.

## Список использованных источников и литературы

1. Карх Д.А., Тарасенко Е.А. Цепи, поставки и системы поставок / Д.А. Карх, Е.А. Тарасенко // Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2021. № 2. С. 22–28.
2. Управление цепью поставок (SCM): учеб. пособие / сост. П.П. Крылатков, М.А. Прилуцкая. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 140 с.
3. Чуракова Е.Ю. Тенденции в управлении цепочками поставок / Е.Ю. Чуракова, М.Ю. Куприков // Компетентность. 2022. № 5. С. 43–45.
4. Бочкарев А.А. Планирование и моделирование цепи поставок: учеб. пособие. – М.: Изд-во «Альфа-Пресс», 2008. – 192 с.
5. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в логистике. Процедуры оптимизации: учеб., 2-е изд. – М.: Академия, 2014. – 285 с.

# SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION TOOL

**Churakova E.Yu.**, applicant, senior lecturer of the Department 904, Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI (NRU))

*Market development and growing competition require constant improvement, development and improvement of the quality of products/services, setting the organization tasks aimed at improving in different areas of activity to strengthen its market position. One of the branches of management is the logistics of supply chains, their optimization, the ability to adapt and change. Building stable, long-term, conscientious relationships with suppliers, which are one of the links in the supply chain, on which in some cases the entire production process is based, is one of the key points that it is necessary to pay attention to at the design stage. The proposed optimization tool allows you to visually assess the capabilities of several potential partners according to the weighty criteria of the customer and choose the best and/or make decisions about optimizing the supply chain with a supplier located at the border level.*

**Keywords:** supply chains, development, optimization, suppliers.

## References

1. Karkh D.A., Tarasenko E.A. Chains, supplies and supply systems / D.A. Karkh, E.A. Tarasenko // Risk: resources, information, supply, competition. 2021. 2. Pp. 22–28.
2. Supply chain Management (SCM): textbook. manual / comp. P.P. Krylatkov, M.A. Prilutskaya. – Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2018. – 140 p.
3. Churakova E.Y. Trends in supply chain management / E.Y. Churakova, M.Y. Kuprikov // Competence. 2022. 5. Pp. 43–45.
4. Bochkarev A.A. Planning and modeling of the supply chain: textbook. manual. – M.: Publishing house «Alpha-Press», 2008. – 192 p.
5. Brodetsky G.L., Gusev D.A. Economic and mathematical methods and models in logistics. Optimization procedures: textbook. 2nd ed. – Moscow: Academy, 2014. – 285 p.

# МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ В ОБЩЕСТВЕННОМ ПИТАНИИ

**Глебова Е.В.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Управления техническими системами» ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»

**Саркисян В.Г.**, магистрант ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»

*Организация пищевых производств, в том числе и предприятий общественного питания регулируется положениями большого количества нормативно-правовых актов, касающихся условий производства, требований к производственному персоналу и санитарной одежде персонала, соответствию производства санитарно-гигиеническим нормам и правилам. Наряду со всем перечисленным требованиями предприятия, производящие пищевую продукцию, должны обеспечить на своем предприятии функционирование системы прослеживаемости, что является обязательным требованием при производстве пищевых продуктов. Прослеживаемость в общественном питании не входит в обязательные требования законодательства, тем не менее прослеживаемость необходима предприятиям общественного питания для гарантированного соблюдения требований качества и безопасности к производимой ими кулинарной продукции.*

**Ключевые слова:** прослеживаемость, общественное питание, блюда, технико-технологическая документация, объект идентификации, механизм прослеживаемости, маркировка.

## ВВЕДЕНИЕ

Прослеживаемость пищевых продуктов – один из важных процессов, рассматриваемых в рамках обязательных программ, которые должны быть реализованы при производстве пищевых продуктов. Требования к прослеживаемости определяются не только стандартами по безопасности пищевых продуктов, но и требованиями российского законодательства, а их реализация необходима:

- для своевременной изоляции небезопасного продукта и предотвращения нанесения вреда здоровью потребителя;
- предотвращения сбоя поставок или продаж продукции вследствие снятия ее с реализации;
- поддержания уровня доверия потребителей путем раскрытия информации об изъятии небезопасной или некачественной продукции [1].

Понятие прослеживаемости пищевой продукции регламентировано Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011<sup>1</sup> «О безопасности пищевой продукции». Согласно ч. 3 ст. 5 ТР ТС 021/2011 пищевая продукция, находящаяся в обращении, в том числе продовольственное (пищевое) сырье, должна сопровождаться товаросопрово-

дительной документацией, обеспечивающей прослеживаемость данной продукции.

Кроме этого ТР ТС 021/2011 говорит о том, что для обеспечения безопасности пищевой продукции в процессе ее производства должны разрабатываться, внедряться и поддерживаться процедуры прослеживаемости [2].

Согласно ГОСТ Р ИСО 22000–2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции»<sup>2</sup>, прослеживаемость – это возможность проследить историю, применение, перемещение или местонахождение объекта на определенной стадии изготовления, обработки и дистрибуции.

Очевидно, что при создании и внедрении системы прослеживаемости как минимум должны учитываться следующие факторы:

- связь партий исходных материалов, ингредиентов и полуфабрикатов с конечным изделием;
- документированная информация, используемая в качестве свидетельства системы прослеживаемости, должна

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 10002–2020 «Удовлетворенность потребителя. Руководящие указания по управлению претензиями в организациях». – Издание официальное. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – С. 25.

<sup>2</sup> ГОСТ Р ИСО 22000–2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции». – Издание официальное. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – С. 34.

сохраняться в течение определенного периода времени (включающего срок хранения продукта) [3].

Также следует отметить, что в соответствии с положениями СанПиНом 2.3/2.4.3590–20<sup>3</sup> предприятия общественного питания должны проводить производственный контроль, основанный на принципах ХАССП, включающий в себя обязательные элементы идентификации и прослеживаемости по всей пищевой цепи производства.

## ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Несмотря на отсутствие законодательно закрепленных требований к наличию на предприятиях общественного питания системы прослеживаемости, необходимость ее наличия обусловлена требованиями и ТР ТС 021/2011 и ГОСТ Р ИСО 22000–2019 соблюдение требований которых обеспечивает выпуск безопасной пищевой продукции, в том числе и кулинарной пищевой продукции к которой относится продукция общественного питания.

Вышеуказанные документы, регулирующие вопросы безопасности производства пищевых продуктов устанавливают требования, – к тому, что на предприятиях система прослеживаемости должна быть внедрена, функционировать и анализироваться, но не указывают, как именно эти требования должны быть реализованы. Очевидно, что реализация требований, касающихся по наличию системы прослеживаемости на предприятии будет зависеть от типа производства, типа выпускаемой продукции, общих характеристик и процессов предприятия.

Основной задачей специалистов предприятия при разработке и оптимизации подходов к идентификации и прослеживаемости на предприятиях общественного питания, выбор объекта прослеживаемости, является разработка механизма прослеживаемости объектов идентификации с учетом выбранных способов, фиксация результатов идентификации объектов и проведение анализа фиксируемых данных.

Целью проводимого научного исследования является разработка методического подхода по разработке системы прослеживаемости на предприятиях общественного питания.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведена идентификация объектов системы прослеживаемости;
- сформирован механизм прослеживаемости объектов идентификации системы прослеживаемости;

- предложен методический подход к разработке системы прослеживаемости на предприятиях общественного питания.

В соответствии с первой задачей исследования по формированию методического подхода по разработке системы прослеживаемости на предприятии общественного питания была проанализирована технико-технологическая документация по приготовлению блюд общественного питания. В качестве объектов идентификации для разрабатываемой системы прослеживаемости были выбраны все категории блюд, составляющих меню предприятия общественного питания, например первое блюдо, второе блюдо (горячее), салат (холодная закуска) и т. д.

В соответствии со второй задачей исследования для формирования механизмов прослеживаемости объектов идентификации в разрабатываемой системе прослеживаемости были использованы следующие способы и приемы:

- установлены точки фиксации информации для системы прослеживаемости;
- разработаны формы фиксации данных системы прослеживаемости;
- регламентировано использование маркировочных знаков для системы прослеживаемости, обеспечивающие выполнение требований нормативных и законодательных актов к организации производства на предприятиях общественного питания.

На основании всех вышеперечисленных положений был предложен методический подход к разработке системы прослеживаемости на предприятиях общественного питания, наглядно представленный на рис. 1.

Апробацию предложенного методического подхода производили последовательно в соответствии с шестью этапами, указанными на рис. 1, в качестве объекта прослеживаемости было выбрано первое блюдо, – суп куриный с картофелем.

Для формализации и наглядного представления технологического процесса приготовления выбранного блюда, на основе изучения и анализа соответствующей технико-технологической документации была составлена блок-схема процесса приготовления блюда – суп куриный с картофелем, блок-схема представлена на рис. 2.

В соответствии со вторым этапом методического подхода (см. рис. 1) выполнялось формирование механизма системы прослеживаемости объектов идентификации на этапе приемки сырья (вспомогательных материалов, полуфабрикатов и т.д.). В данном случае в качестве способов идентификации были использованы элементы прослеживаемости поставщика (маркировка, этикетка, сопроводительная документация и пр.). Для фиксации данных была предложена

<sup>3</sup> СанПиН 2.3/2.4.3590–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения». – Издание официальное. – Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 11 ноября 2020 года, регистрационный № 60833. – С. 37.



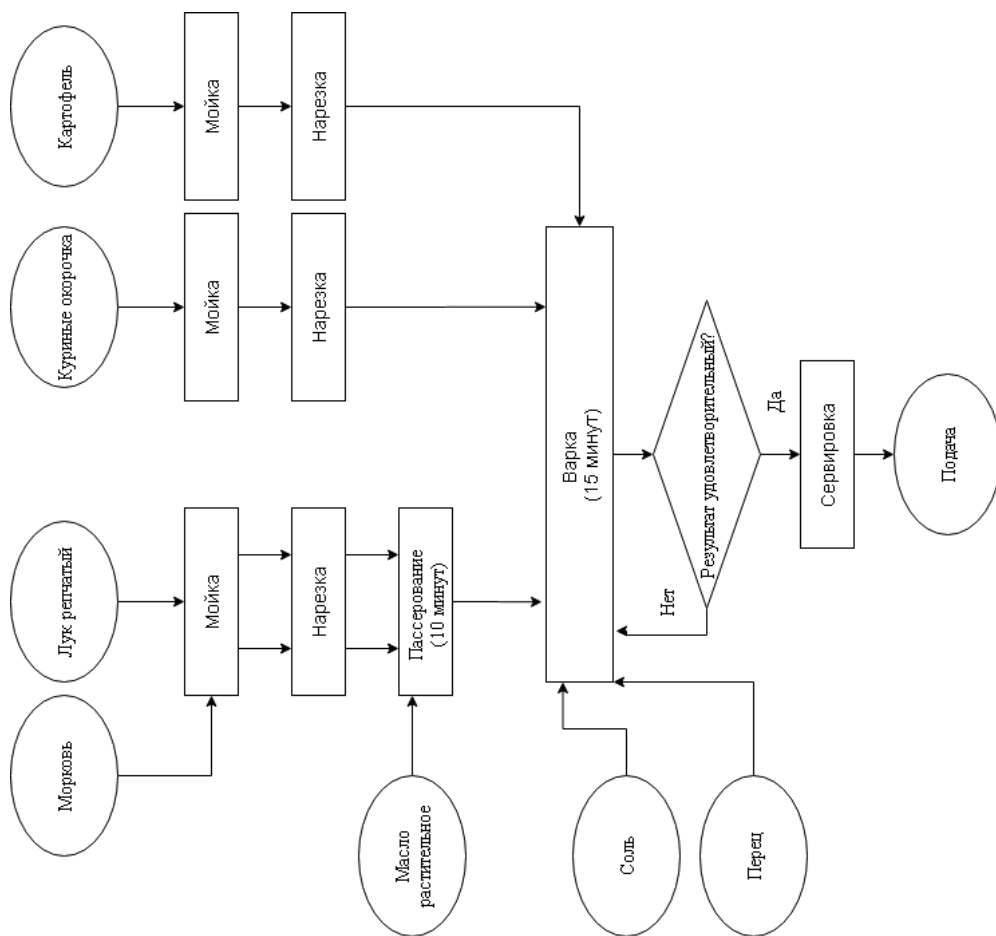


Рис. 2. Блок-схема приготовления супа куриного с картофелем

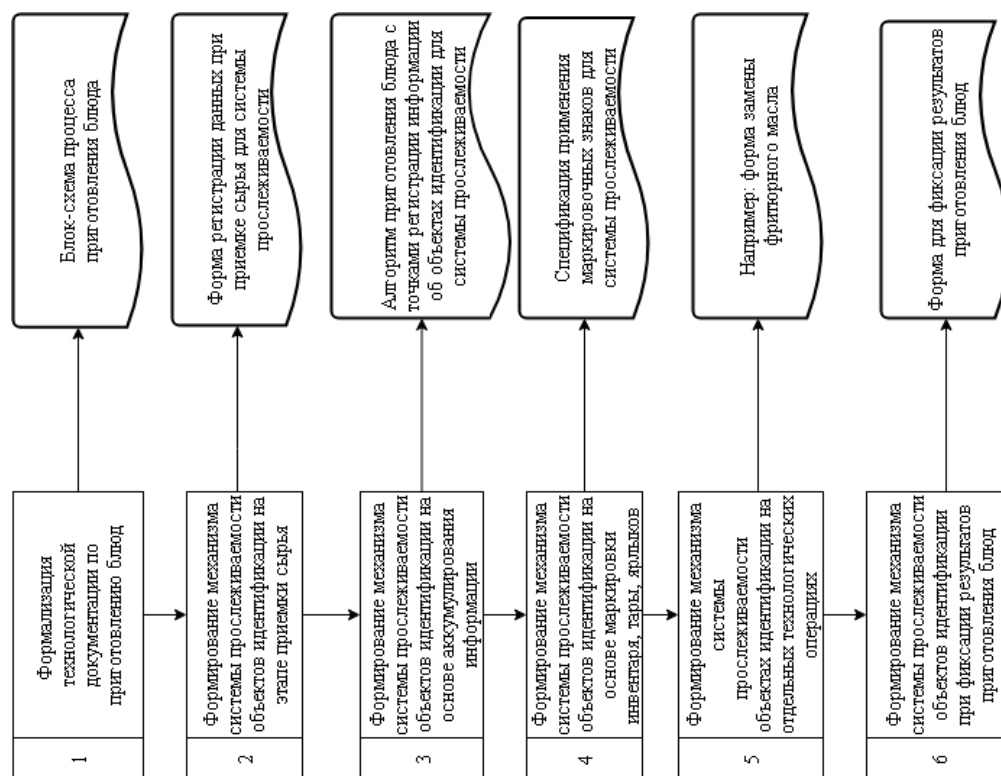


Рис. 1. Методический подход к разработке системы прослеживаемости на предприятиях общественного питания

форма регистрации данных формирующих систему прослеживаемости на этапе приемки (входного контроля). Форма представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Форма для фиксации результатов входного контроля**

ФОРМА ПРИЕМКИ ПРОДУКЦИИ	Дата и час поставки		
	Наименование продукции		
	Фасовка/дата выработки		
	Производитель / поставщик		
	Количество в кг, л		
	Примечание	ТТН, документы соответствия (номер)	
		Температура продукта (для скоропортящихся и замороженных продуктов)	
		Соответствие товаросопроводительной документации	
		Принять /Отклонить	
		Корректирующие действия для забракованного товара	

На данном этапе как мы видим, что система прослеживаемости представлена фиксацией всех данных о приемке и идентификационной маркировкой каждого вида сырья (вспомогательных материалов, полуфабрикатов и т.д.). Следует отметить, что для упорядочения фиксируемой ин-

формации учитывается все поступающее сырье, включая и дату его производства, что обеспечит возможность отследить готовый продукт от того момента, когда он поступил в производство.

Для реализации третьего этапа методического подхода был предложен механизм прослеживаемости объектов идентификации (блюда) на основе аккумуляции информации о производстве. На основании анализа технико-технологической документации по приготовлению первого блюда, наглядно представленного на рис. 2 в виде блок-схемы, был разработан алгоритм, включающий последовательность технологических этапов приготовления блюда с указанием точек регистрации информации, содержанием и составом регистрируемой информации включаемыми в систему прослеживаемости, алгоритм представлен на рис. 3.

Анализируя алгоритм приготовления супа куриного с картофелем с точками регистрации информации об объектах идентификации для системы прослеживаемости, была составлена спецификация разъясняющая применение маркировочных знаков в целях функционирования системы прослеживаемости (четвертый этап методического подхода). Спецификация представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Спецификация, разъясняющая применение маркировочных знаков в целях функционирования системы прослеживаемости при приготовлении супа куриного с картофелем**

ОБЪЕКТ МАРКИРОВКИ	МАРКИРОВКА
Хранение принятого сырья	Картофель, морковь, лук репчатый хранятся на полках, которые промаркированы как «Овощи»
	Куриные окорочка принятые в замороженном виде, хранятся в холодильном оборудовании в соответствующей температурой и относительной влажностью. Холодильное оборудовании промаркировано как «ХЗ», что означает холодильник для замороженной продукции, в отсеке с курицей и мясом птицы, с отметкой «П» – птица
Хранение вспомогательного сырья	Хранение вспомогательного сырья (перец, соль, масло растительное), осуществляется в сухом месте, на специальном стеллаже. Полки стеллажа промаркированы как «Специи» и «Масло»
Подготовка сырья и материалов	На куриный окорочок обязательно наносится маркировка о дате и времени дефростации. Масло растительное, соль, перец, распаковываются и маркируются датой вскрытия
Тара для отходов	Тара для отходов от овощей преимущественно зеленого цвета и маркируется «Отходы овощные» Тара для отходов от мяса, рыбы и птицы (не подлежащие переработке) маркируется «Отходы МРП», при этом мусоросборники имеют плотно закрывающуюся крышку и обязательно подвергаются очистке специальными дезинфицирующими средствами
Мойка инвентаря	Мойка осуществляется в промаркированных мойках, для овощей «Для овощей», для мяса, рыбы и птицы – «Для МРП»
Нарезка	Нарезка всех материалов осуществляется промаркированным ножом, на промаркированных разделочных досках. Раскладывание нарезанных овощей и куриных окорочков осуществляется в промаркированную оборотную тару. Для картофеля, моркови и лука репчатого – ножи, разделочные доски и тара – зеленого цвета, для куриных окорочков – красного цвета
Хранение суточных заготовок	После нарезки суточные заготовки передаются на хранение в холодильное оборудование, на разные промаркированные полки: полка для овощей, нарезанных – «Овощи нарезанные», полка для курицы – «Мясо птицы нарезанное». Также все заготовки, упакованные в оборотную тару необходимо закрыть крышкой, либо пищевой пленкой, на которую ставится маркировка, где указывается время и дата нарезки продуктов и когда они были положены в холодильник
Тепловая обработка (варка, пассировка)	Варка осуществляется в таре, промаркированной «Для супов», этап пассировки в таре, промаркированной «Для пассировки»
Раздача готового блюда и порционирование	Раздача готового блюда и порционирование осуществляется промаркированным инвентарем, половником на котором клеймо «Для супов»

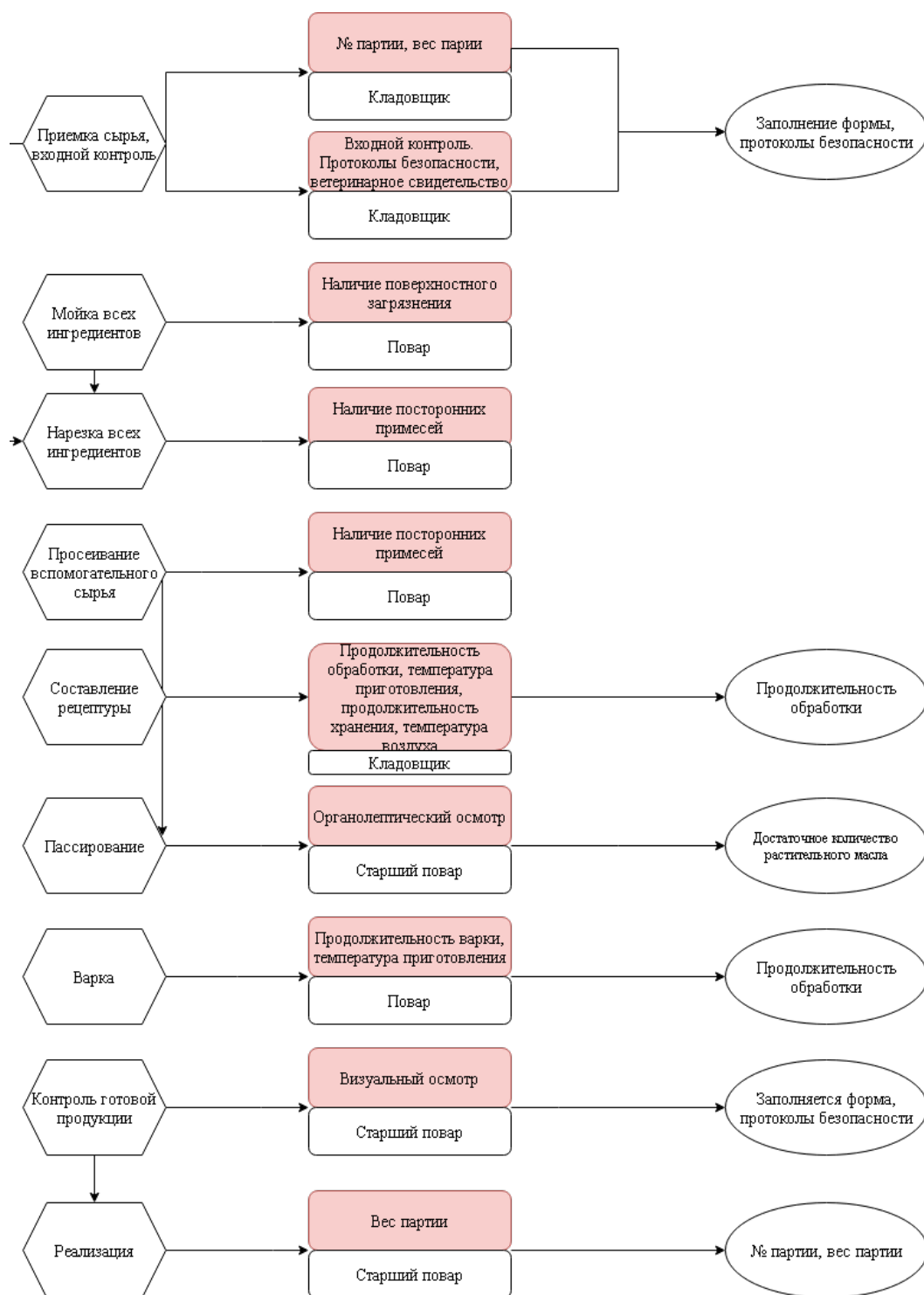


Рис. 3. Алгоритм приготовления супа куриного с картофелем с точками регистрации информации об объектах идентификации для системы прослеживаемости

Пятый этап методического подхода по разработке системы прослеживаемости включает специфику технологических операций приготовления блюд в рамках системы прослеживаемости. Например, технологическая операция «жарка во фритюре», требует ведения формы по замене фритюрного масла. В случае отсутствия потребности в сборе и анализе дополнительной информации по этапам технологического процесса данный этап методического подхода может быть пропущен.

В соответствии с шестым этапом методического подхода, после тепловой обработки (варка, пассировка) приготовления блюда, проводится контроль готовой продукции, на котором определяется качество приготовленного блюда. Результаты контроля подлежат фиксации в форму, представленную в табл. 3, на тару наносится ярлык с информацией о дате и времени приготовления супа.

Таблица 3

#### Форма для фиксации результатов приготовления блюда

ФОРМА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ДАТА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВРЕМЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ	Наименование изготовленного блюда	
	Количество изготовленного, в порциях (вес согласно меню)	
	Количество нереализованных остатков	
	Количество отходов после изготовления	
	Перечень используемого сырья	
	Количество переработанного продукта (из приготовленных ранее блюд)	

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований был предложен методический подход к формированию системы прослеживаемости на предприятиях общественного питания состоящий из шести последовательно выполняющихся этапов. В качестве механизмов, обеспечивающих реализацию разработанного методического подхода, была использована графическая формализация процессов приготовления блюд, алгоритмизация последовательных действий с точками фиксации и содержанием фиксируемой информации, разработка форм сбора и накопления информации в точках прослеживаемости, маркировка инвентаря, тары, формирование информационных ярлыков в целях функционирования системы прослеживаемости. Использование данного методического подхода позволит предприятиям общественного питания избежать наиболее часто возникающую проблему при разработке и внедрении системы прослеживаемости заключающуюся в неполной прослеживаемости, которая возникает вследствие потери информации на этапе приготовления блюд на предприятиях общественного питания.

#### Список использованных источников и литературы

1. Прослеживаемость пищевых продуктов. [Электронный ресурс]. URL: <https://3quality.ru/blog/pishhevaja-bezopasnost/proslezhivaemost-pishhevyh-produktov/> (дата обращения 12.10.2023).
2. Глебова Е.В. Нормативное обеспечение прослеживаемости на пищевых предприятиях печ. Научная трансформация – основа устойчивого инновационного развития общества: сборник статей Международной научно-практической конференции (г. Казань, РФ, 12 мая 2023 г.). – Уфа: Omega science, 2023. – С. 72–77.
3. Прослеживаемость в общепите. [Электронный ресурс]. URL: <https://kachestvo.pro/kachestvo-produktsii/kontrol/proslezhivaemost-v-obshchepite/> (дата обращения 12.10.2023).

# METHODOLOGICAL APPROACH TO SYSTEM DEVELOPMENT TRACEABILITY IN PUBLIC FOOD SERVICE

**Glebova E.V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems Management, Dalrybvtuz

**Sarkisyan V.G.**, Master, Dalrybvtuz

*The organization of food production, including public catering establishments, is regulated by the provisions of a large number of regulations relating to production conditions, requirements for production personnel and sanitary clothing of personnel, and compliance of production with sanitary and hygienic standards and rules. Along with all of the above requirements, enterprises producing food products must ensure the functioning of a traceability system at their enterprise, which is a mandatory requirement in the production of food products. Traceability in public catering is not included in the mandatory legal requirements, however, traceability is necessary for public catering enterprises to comply with the quality and safety requirements for culinary products produced by such enterprises.*

**Keywords:** traceability, public catering, dishes, technical and technological documentation, identification object, traceability mechanism, labeling.

## References

1. Traceability of food products. [Electronic resource]. URL: <https://3quality.ru/blog/pishhevaja-bezopasnost/proslezhivaemost-pishhevyh-produktov/> (accessed 10.12.2023).
2. Glebova E.V. Regulatory support of traceability at food enterprises Pech. Scientific transformation is the basis for sustainable innovative development of society: a collection of articles from the International Scientific and Practical Conference (Kazan, Russian Federation, May 12, 2023). – Ufa: Omega science, 2023. – Pp. 72–77.
3. Traceability in public catering. [Electronic resource]. URL: <https://kachestvo.pro/kachestvo-produktsii/kontrol/proslezhivaemost-v-obshchepite/> (accessed 10.12.2023).

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА 3-D ПЕЧАТИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Будкин Ю.В., д-р техн. наук, ФГБУ «Институт стандартизации», профессор РУТ (МИИТ)

В статье представлены результаты исследований современных технологий мониторинга аддитивного производства и варианты использования сенсорных элементов информационных систем для мониторинга 3D-печати аддитивного производства (ISM). Определены функциональные характеристики одиннадцати сенсорных элементов информационных систем. Сенсорные элементы информационных систем успешно используются для обнаружения дефектов, но системы обработки данных и анализа данных требуют дальнейшего развития, чтобы усовершенствовать технологию 3-D печати в целом и добиться широкого внедрения в промышленности. Установлены основные технические пробелы, ограничивающие полное внедрение ISM для квалификации АМ. К ним относятся: установление причинно-следственной связи между сигналами датчиков и фактическими дефектами; ограниченная доступность базовых наборов данных; отсутствие стандартных образцов.

Определены области ISM, наиболее подготовленные для промышленного использования: мониторинг состояния установки (состояние системы); мониторинг верхнего слоя порошка; мониторинг искажения геометрии детали. Разработана методика технологической готовности сенсорных элементов информационных систем для мониторинга 3-D печати аддитивного производства, содержащая девять уровней. На основе методики разработан прогноз развития сенсорных технологий на период до 2025 года.

**Ключевые слова:** информационные системы и процессы, машиностроение, стандарт, мониторинг, аддитивное производство.

## ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг 3-D печати (in situ monitoring – ISM) является технологическим дополнением к системам аддитивного производства (АП), таким как установка для 3D-печати вспомогательного оборудования, используемого для АП. Мониторинг 3-D печати разработан для управления процессами обнаружения дефектов, корректировки параметров 3-D печати и обеспечения качества изделия аддитивного производства [1]. Известно три основных способа ISM: мониторинг состояния машины (мониторинг состояния системы); мониторинг процесса плавления и мониторинг наплавленного материала. Особенно технологические зрелые способы использования мониторинга содержат замкнутый цикл управления процессами АП и обнаружение дефектов на стадии печати изделия.

Мониторинг состояния установки АП для лазерного синтеза на подложке включает мониторинг рабочей атмосферы, уровня сырья, фокусировки и (или) мощности лазера [2] и представлен на рис. 1.

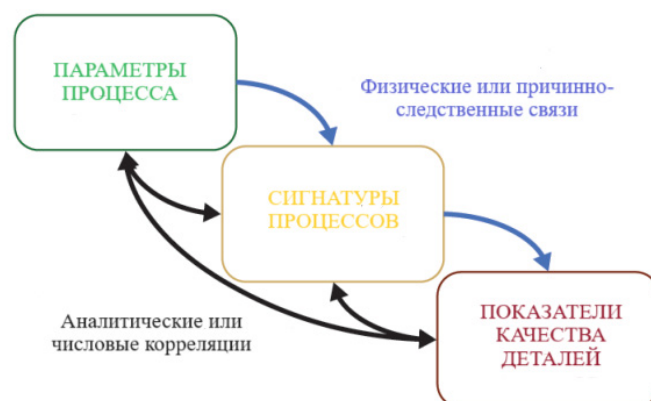


Рис. 1. Общая схема мониторинга процесса АП, в котором поверхность предварительно нанесенного слоя порошкового материала выборочно, полностью или частично расплавляется тепловой энергией лазерной установки

Недостатком предложенного мониторинга является отсутствие причинно-следственной связи между сигналами датчиков информационной системы и фактическими дефектами изделия АП; ограниченная доступность базовых наборов данных; отсутствие стандартных образцов. Хотя статус ISM для мониторинга состояния машин АП (мониторинга состояния системы) хорошо развит, обнаружение конкретных дефектов требует значительных улучшений. Сенсорные элементы информационных систем успешно используются для обнаружения дефектов, но системы обработки данных и анализа данных требуют дальнейшего развития, чтобы усовершенствовать технологию 3-D печати в целом и добиться широкого внедрения в промышленности

Мониторинг 3-D печати обычно используется для контроля стабильности процесса или геометрической точности конструкции [1]. Прежде чем обсуждать сенсорные технологии, важно определить характеристики элементов информационных систем, применяемых сегодня для ISM.

## ИССЛЕДОВАНИЕ

Для исследования технологической готовности сенсорных элементов информационных систем выбран процесс синтеза на подложке, в котором энергия от лазера используется для избирательного спекания/сплавания предварительно нанесенного слоя порошкового материала.

### 1. Оптическая визуализация

Оптическое изображение процессов АМ обычно достигается с помощью известных технологий цифровых камер, таких как устройство с зарядовой связью (CCD, все сигналы пикселей обрабатываются одним чипом) или комплементарный металл-оксид-полупроводник (CMOS, каждый пиксель имеет свой собственный чип обработки), что повышает скорость, но увеличивает сложность и может снизить разрешение захвата. Оба упоминались в различных исследованиях, но ни в одном из них не было указано предпочтение одного перед другим [3]. Существующие реализации имеют широкий диапазон сложности: от однокамерной визуализации после каждого слоя [4] до многокамерной с высокой частотой кадров для наблюдения за ванной расплава.

### 2. Фотоэлектрические пирометры и тепловидение

Бесконтактные термометры используют инфракрасный свет для определения температуры в одной точке путем сравнения реакции отфильтрованного света со стандартом. Оптические пирометры используют оптическую систему (например, линзы, зеркала, фильтры и т. д.) для фокусировки испускаемого излучения на детектор, который реагирует сигналом напряжения или тока. Сигнал пропорционален излучаемой энергии и температуре в пределах

определенного рабочего диапазона, но зависит от излучательной способности измеряемого материала [3].

### 3. Спектрометр

Набор фотодетекторов используют для измерения количества фотонов, попадающих на датчики, в диапазоне длин волн. Эта расширенная возможность может быть использована для определения температуры ванны расплава, состава материала и окружающей атмосферы. В результате обнаруживаемые дефекты могут включать пористость (в зависимости от температуры), загрязнение (спектры излучения атмосферы и материала) и отсутствие плавления (температура).

В зависимости от количества каналов (длин волн) и частоты захвата (большинство исследовательских систем способны работать на частоте более 1000 Гц) эти датчики могут выдавать большие объемы данных, обработка которых может потребовать значительных затрат. Для решения этой проблемы важен выбор соответствующих длин волн для анализа и соответствующих скоростей захвата на основе параметров процесса. Соответствующие длины волн могут быть выбраны на основе того, насколько сильно они коррелируют с изменениями процесса или возникновением дефектов [5].

### 4. Термопары

Большинство исследований было сосредоточено на пирометрах для мониторинга температуры на месте, поскольку контакт, необходимый для термопар, значительно ограничивает их способность контролировать осаждаемый материал. Термопары чаще используются для контроля компонентов системы (например, рабочего стола, сопла для подачи сырья), чем для контроля сборных деталей.

Термопары могут обеспечивать очень точные измерения температуры в пределах определенного рабочего диапазона, и существует множество типов термопар, позволяющих выбрать подходящее рабочее окно (путем изменения двух материалов, используемых в проводах) [3].

### 5. Датчики перемещения/профилометры

В плавлении порошкового слоя лазерным лучом интерферометрия использовалась для мониторинга топологии порошкового слоя с целью выявления проблем с качеством повторного покрытия, которые были связаны с качеством изготовленной детали [6].

Потенциальные недостатки включают загрязнение оптики (из-за требуемой близости), высокую скорость передачи данных и требуемую направленность перемещения оболочки (в случае профилометра, монтируемого на головке оболочки).

## 6. Ультразвуковой датчик

Ультразвуковые системы обычно используют пьезоэлектрические передатчики и датчики для измерения отражений ультразвуковых колебаний (обычно 1–10 МГц) для исследования структурных свойств и свойств материалов. Ультразвуковой неразрушающий контроль зависит от шума внешних вибраций, сложности геометрии детали, большого количества дефектов и адекватного контакта между преобразователем и деталью. Ультразвуковые системы обладают высокой скоростью генерации данных и могут регистрировать ультразвуковые сигналы с временным разрешением до 4 нс [7].

## 7. Электромагнитный датчик

Метод электромагнитных испытаний применяют для неразрушающего контроля проводящих материалов. Датчик обнаруживает изменения импеданса катушки датчика, чтобы сделать вывод о наличии дефектов в испытуемом изделии.

## 8. Акселерометр

Акселерометры обычно представляют собой пьезоэлектрические материалы, предназначенные для обнаружения изменений ускорения на основе индуцированного напряжения. Они были интегрированы в системы плавления порошкового слоя лазерным лучом для контроля стабильности системы во время обработки [8].

## 9. Акустические сигналы

Общая акустика процесса меняется при настройке параметров, что позволяет использовать датчик для обнаружения неожиданных ухудшений процесса. Например, в дуговых процессах АД режим переноса металла можно идентифицировать и охарактеризовать с помощью акустических сигналов [9].

## 10. Рентгенография

Было продемонстрировано, что методы рентгенографии и дифракции с временным разрешением предоставляют количественную структурную информацию о размере/форме ванны расплава, выбросе порошка, затвердевании и фазовых превращениях LSM [10]. Однако в настоящее время они не имеют сложность в применении из-за ограничений стоимости, безопасности и размеров в большинстве производственных сред.

## 11. Нейтронная дифракция

Нейтронная дифракция может неразрушающим образом определить остаточные деформации и напряжения для системы плавления порошкового слоя лазерным лучом. По сравнению с рентгеновскими лучами нейтроны имеют

большую глубину проникновения (рассеяние рентгеновских лучей происходит в пределах нескольких микрометров или миллиметров, тогда как нейтроны могут проникать на глубину до нескольких сантиметров). Нейтронные рентгенограммы производятся с помощью сцинтиллятора  $^6\text{LiF/ZnS}$ , преобразующего нейтроны в свет, который затем может быть обнаружен прибором с зарядовой связью [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе проведенных исследований разработана методика определения технологической готовности сенсорных элементов информационных систем для мониторинга 3-D печати аддитивного производства. Методика содержит девять уровней готовности сенсорной технологии (табл. 1), разделенных на три блока разработки и промышленного внедрения.

Таблица 1

Определение готовности сенсорных элементов информационной системы

1	Формирование основных принципов работы датчика	Научное исследование
2	Разработка технических задач применения датчика	Технологическая отработка
3	Проверка сигналов датчика в лабораторных условиях	
4	Проверка работоспособности датчика в 3-D печати, в лабораторных условиях	
5	Интеграция датчика в информационную систему АМ	
6	Датчик работает с анализом сигнала в информационной среде, использован при сертификации деталей или процесса	
7	Информационная среда позволяет обнаруживать дефекты трехмерной печати	
8	Информационная среда управляет процессом качества трехмерной печати	Промышленное внедрение
9	Датчик сертифицирован и применен в информационной среде мониторинга 3-D печати в промышленном производстве	

Основное число уровней готовности относится к технологической отработке изделия, что обусловлено количественной оценкой с помощью системы показателей:

<sup>1</sup> Сцинтилляторы — вещества, проявляющие сцинтилляцию, то есть излучающие свет при поглощении ионизирующего излучения (гамма-квантов, электронов, альфа-частиц и т.д.).



- базовые (исходные) значения показателей технологичности, являющиеся предельными нормативами технологичности, обязательными для выполнения при разработке изделия;
- значения показателей технологичности, достигнутые при разработке изделия;
- показатели уровня технологичности конструкции разрабатываемого изделия.

Базовые значения показателей технологичности указываются в техническом задании на разработку изделия, а по отдельным видам изделий, номенклатура которых устанавливается отраслями, – в стандартах организации.

Данные об уровне технологичности конструкции и уровне готовности сенсорной технологии должны использоваться в процессе оптимизации конструктивных решений на стадиях разработки конструкторской документации, при принятии решения о производстве изделия, анализе технологической подготовки производства, разработке мероприятий по повышению уровня технологичности конструкции изделия и эффективности его производства и эксплуатации, при государственной, отраслевой и заводской аттестации качества изделия и определении технико-экономических показателей производства, эксплуатации и ремонта изделия в порядке, установленном отраслевой нормативно-технической документацией.

На основе методики ранжированы сенсорные технологии по состоянию на 2022 год, так и на пятилетнюю перспективу (рис. 3).

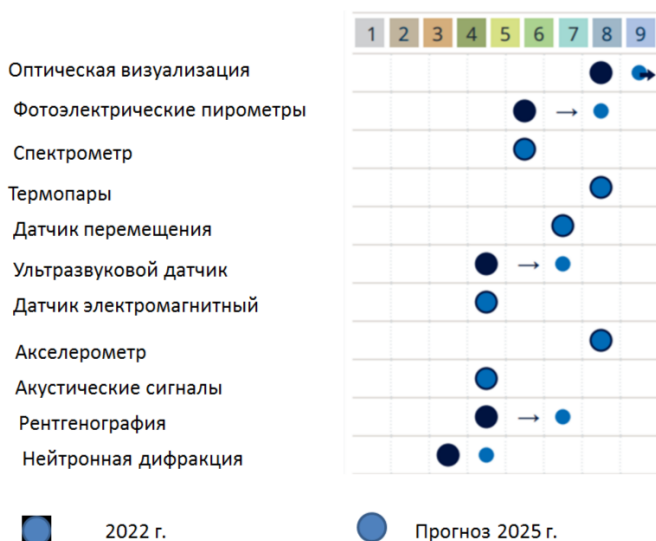


Рис. 3. Уровни технологической готовности сенсорных элементов информационных систем для мониторинга 3-D печати аддитивного производства по состоянию на 2022 год (темно-синий) и прогноз на 2025 год (голубой)

Хотя такие датчики, как термопары и акселерометры, широко доступны и обычно используются в системах АМ, они обычно обеспечивают обнаружение основных проблем процесса спекания или поверхности построения, что позволяет оператору своевременно скорректировать параметры трехмерной печати. Качество данных, как правило, недостаточно для обнаружения дефектов или нестабильности процесса, необходимые для обнаружения конкретных дефектов или контроля на месте.

Акустические микрофоны также недороги и легко доступны, но обычно не используются в основных коммерческих комплексах датчиков аддитивного оборудования или сторонних производителей. Микрофоны изучались для обеспечения безопасности при аддитивном производстве в течение многих десятилетий, но не получили существенного распространения в промышленном масштабе из-за проблем с качеством данных, возникающих из-за внешних шумовых помех, высокого риска ложных срабатываний и невозможности масштабирования в области построения.

Датчики, основанные на обнаружении фотонов (оптические, тепловые и спектрометрические), в настоящее время являются наиболее распространенными современными инструментами ISM. Оптическая визуализация в настоящее время является наиболее распространенной и, вероятно, останется таковой. Камеры видимого спектра света (VIS) и освещение для оптической топографии в части обнаружения проблем с устройством повторного нанесения покрытия и положением детали значительно усовершенствовались и интегрированы в информационные системы. Подобные NIR-камеры ближнего инфракрасного диапазона, которые наблюдают и интегрируют тепловое излучение ванны расплава для обнаружения горячих точек или брызг, вероятно, будут интегрированы в большинство систем в ближайшие несколько лет. Мониторинг ванны расплава по оси с помощью NIR-камер и фотодиодов легко доступен, но объем генерируемых данных требует высоких затрат на обработку и хранение. Спектрометры предлагают более широкий диапазон длин волн и, как правило, более высокую чувствительность, но имеют значительно более высокую стоимость и генерируют еще больше данных. Скорее всего, они останутся в качестве исследовательских инструментов для определения длин волн, которые можно контролировать с помощью фотодиодов или камер, а не для промышленного внедрения.

Датчики перемещения являются необходимым инструментом для большинства технологий 3-D печати, они широко доступны и применяются для контроля зазорного расстояния в сборке, но, как правило, не предоставляют информации, ценной для квалификации деталей.

Инструменты ультразвукового и вихретокового контроля имеют больший потенциал, чем другие методы для обна-

ружения конкретных дефектов и могут обеспечить сертификацию деталей.

Лазерная термография имеет аналогичный потенциал, но менее исследована в литературе по АП. Однако повышенная шероховатость поверхности деталей при лазерном спекании порошка по сравнению с электронно-лучевым спеканием может ограничивать применение лазерной термографии.

Несмотря на полезный потенциал информационных систем мониторинга 3-D печати, существует множество проблем при внедрении ISM для квалификации АП, которые были выявлены в результате этого анализа.

Вихретоковое тестирование на ISM предполагает прикрепление датчиков к дозирующему устройству для поверхности построения. Демонстрация этой технологии была проведена и запатентована, но необходимы дополнительные технические разработки и доработка, прежде чем ее можно будет полностью использовать в производственной среде [10].

Рентгеновская и нейтронная дифракция как методы поперечного объемного контроля в настоящее время являются исследовательскими инструментами и вряд ли станут коммерческими инструментами ISM. Однако исследования по обнаружению мониторинга вторичных электронов или обратно рассеянных электронов, часто называемых электронно-оптическими и взаимодействиями материалов, в настоящее время представляют интерес для мониторинга процессов как в технологиях электронно-лучевого спекания [12]. Вполне вероятно, что в ближайшие несколько лет эти системы будут более широко внедряться с ограниченными возможностями и более высоким потенциалом в течение более длительного периода времени.

Методика определения технологической готовности сенсорных элементов информационных систем для мониторинга 3-D печати аддитивного производства позволила определить области ISM наименее зрелыми, но имеющими наибольший потенциал для перспективного использования:

1. Анализ и интерпретация данных.
2. Методы вероятностного анализа.
3. Имитационное моделирование в масштабе ванны расплава.

Используя потенциал сенсорных технологий в ISM, пользователи должны иметь возможность достоверно моделировать создание дефектов, тем самым вызывая необходимость в формировании, хранении и обмене данными о стандартных образцах.

Как только сообщество достигнет консенсуса по стандартным образцам и процессам АП, чтобы обеспечить понимание возможностей обнаружения и доказанную причинную корреляцию между сенсорными системами, машинами, материалами и т. д., пользователи смогут быть уверены в применении технологии ISM для обнаружения дефектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы основные сенсорные элементы информационных систем для мониторинга 3-D печати аддитивного производства. Установлены основные технические пробелы, ограничивающие полное внедрение ISM для квалификации АМ. К ним относятся: установление причинно-следственной связи между сигналами датчиков и фактическими дефектами; ограниченная доступность базовых наборов данных; отсутствие стандартных образцов.

Определены области ISM, наиболее подготовленные для промышленного использования: мониторинг состояния машины; мониторинг верхнего слоя порошка; мониторинг искажения геометрии детали.

Разработана методика определения технологической готовности сенсорных элементов информационных систем для мониторинга 3-D печати аддитивного производства. Определены области ISM наименее технологически готовые, но имеющие наибольший потенциал для перспективного использования: анализ и интерпретация данных; методы вероятностного анализа; имитационное моделирование в масштабе ванны расплава.

## Список использованных источников и литературы

1. Будкин Ю.В., Соколов Ю.А., Фролов В.А. Алгоритмы искусственного интеллекта в естественных и искусственных источниках излучения. Часть 2. Излучение высококонцентрированными источниками нагрева // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5 (69). С. 27–34.
2. Фролов В.А., Князев А.В., Будкин Ю.В., Анисимов Н.Р., Федоров С.А. Алгоритмы искусственного интеллекта в естественных и искусственных источниках излучения. Часть 3. Лазерное излучение // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6 (70). С. 42–48
3. Tapia G. and Elwany, A. A Review on Process Monitoring and Control in MetalBased Additive Manufacturing // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2014. – Т. 136. – No. 6. – P. 060801.

4. Straub J. Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) using software image analysis // *Machines*. – 2015. – Т. 3. – No. 2. – Pp. 55–71.
5. Пат. 8723078 США, МКИЗ В 23К31/125. Контроль качества сварочных швов / J. Mazumder; S.H. Lee. – No. US12/623 249; Заявлено 20.11.2009; Опубл. 14.05.2014.
6. Neef A. et al. Low coherence interferometry in selective laser melting // *Physics Procedia*. – 2014. – Т. 56. – Pp. 82–89.
7. Rieder H. et al. Online monitoring of additive manufacturing processes using ultrasound // *Proceedings of the 11th European Conference on Non-destructive testing*. – 2014. – Т. 1. – Pp. 2194–2201.
8. Guo J. et al. An in-situ monitoring system for electron beam wire-feed additive manufacturing // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2020. – Т. 307. – P. 111983.
9. Additive Manufacturing–Nondestructive Testing–Intentionally Seeding Flaws in Metallic Parts // ASTM International, 2022. – <https://www.astm.org/iso-2fastmtr52906-eb.html> (дата обращения 21.12.2023).
10. Todorov E., Boulware P., Gaah K. Demonstration of array eddy current technology for real-time monitoring of laser powder bed fusion additive manufacturing process // *Nondestructive characterization and monitoring of advanced materials, aerospace, civil infrastructure, and transportation XII*. – SPIE, 2018. – Т. 10599. – Pp. 190–201.
11. Бушама, Л. Моделирование и применение детектора на основе тонкого сцинтиллятора  $ZnS(Ag)+6LiF$  для регистрации тепловых нейтронов природного и искусственного происхождения : специальность 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц» : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. 2021. – 122 с.
12. Fu Z., Körner C. Actual state-of-the-art of electron beam powder bed fusion // *European Journal of Materials*. 2022. Т. 2. No. 1. Pp. 54–116.

# METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL READINESS OF SENSOR ELEMENTS OF INFORMATION SYSTEMS FOR MONITORING 3-D PRINTING OF ADDITIVE MANUFACTURING

**Budkin Yu.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Russian Standardization Institute, Professor of RUT (MIIT)

*The article presents the results of research into modern technologies for monitoring additive manufacturing and options for using sensor elements of information systems for monitoring 3D printing of additive manufacturing (ISM). The functional characteristics of eleven sensor elements of information systems are determined. Sensory elements of information systems have been successfully used to detect defects, but data processing and data analysis systems require further development to improve 3-D printing technology as a whole and achieve widespread industrial adoption. Key technical gaps limiting the full implementation of ISM for AM qualification have been identified. These include: establishing a cause-and-effect relationship between sensor signals and actual defects; limited availability of underlying data sets; lack of standard samples.*

*The areas of ISM most prepared for industrial use have been identified: monitoring the state of the installation (system state); monitoring of the top layer of powder; monitoring of part geometry distortion. A methodology has been developed for the technological readiness of sensor elements of information systems for monitoring 3-D printing of additive manufacturing, containing nine levels. Based on the methodology, a forecast for the development of sensor technologies for the period up to 2025 has been developed.*

**Keywords:** information systems and processes, mechanical engineering, standard, monitoring, additive manufacturing.

## References

1. Budkin Yu.V., Sokolov Yu.A., Frolov V.A. Artificial intelligence algorithms in natural and artificial radiation sources. Part 2. Radiation from highly concentrated heating sources // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2022. No. 5 (69). Pp. 27–34.
2. Frolov V.A., Knyazev A.V., Budkin Yu.V., Anisimov N.R., Fedorov S.A. Artificial intelligence algorithms in natural and artificial radiation sources. Part 3. Laser radiation // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2022. No. 6 (70). Pp. 42–48
3. Tapia G. and Elwany, A. A Review on Process Monitoring and Control in MetalBased Additive Manufacturing // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2014. – Т. 136. – No. 6. – P. 060801.
4. Straub J. Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) using software image analysis // Machines. – 2015. – Т. 3. – No. 2. – Pp. 55–71.
5. Пат. 8723078 США, МКИ3 В 23К31/125. Контроль качества сварочных швов / J. Mazumder; S.H. Lee. – No. US12/623 249; Заявлено 20.11.2009; Оpubл. 14.05.2014.
6. Neef A. et al. Low coherence interferometry in selective laser melting // Physics Procedia. – 2014. – Т. 56. – Pp. 82–89.
7. Rieder H. et al. Online monitoring of additive manufacturing processes using ultrasound // Proceedings of the 11th European Conference on Non-destructive testing. – 2014. – Т. 1. – Pp. 2194–2201.
8. Guo J. et al. An in-situ monitoring system for electron beam wire-feed additive manufacturing // Sensors and Actuators A: Physical. – 2020. – Т. 307. – P. 111983.
9. Additive Manufacturing–Nondestructive Testing–Intentionally Seeding Flaws in Metallic Parts // ASTM International, 2022. – <https://www.astm.org/iso-2fastmtr52906-eb.html> (accessed 21.12.2023).

10. Todorov E., Boulware P., Gaah K. Demonstration of array eddy current technology for real-time monitoring of laser powder bed fusion additive manufacturing process // Nondestructive characterization and monitoring of advanced materials, aerospace, civil infrastructure, and transportation XII. – SPIE, 2018. – Т. 10599. – Pp. 190–201.
11. Bushama L. Modeling and application of a detector based on a thin ZnS(Ag)+6LiF scintillator for recording thermal neutrons of natural and artificial origin : MEPH. 2021. – 122 p.
12. Fu Z., Körner C. Actual state-of-the-art of electron beam powder bed fusion // European Journal of Materials. 2022. Т. 2. No. 1. Pp. 54–116.

# ЭВОЛЮЦИЯ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

## Часть 1. Архитектура интеллектуального агента

**Бурый А. С.**, д-р техн. наук, ФГБУ «Институт стандартизации», Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

**Фролов В. А.**, д-р техн. наук, проф., ФГБУ «Институт стандартизации»

**Куляница А. Л.**, д-р техн. наук, проф., ФГБУ «Институт стандартизации»

*Рассматривается активно развивающийся в последнее время агентно-ориентированный подход к моделированию информационных систем в различных сложных предметных областях (наука, производство, обучение, здравоохранение, экономика, окружающая среда и др.). Достижения в области вычислительной техники сделали возможным моделировать крупномасштабные системы, учитывать социальные и поведенческие факторы взаимодействия окружающего мира.*

*Одним из решений перечисленных сложностей выступает моделирование людей и информационных процессов для их взаимодействия, как агентов убеждений, желаний и намерений (BDI-агентов). Предложена обобщенная структура интеллектуального агента на основе BDI – архитектуры, рекомендации по применению основных типов агентно-ориентированных моделей. Целью настоящего исследования является совершенствование научной и методической базы при разработке концептуального подхода в применении когнитивных агентов в задачах моделирования информационного взаимодействия объектов междисциплинарных предметных областей.*

**Ключевые слова:** агентно-ориентированное моделирование, интеллектуальный агент, когнитивная архитектура, информационное взаимодействие.

### ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование объектов исследования (ОИ) продолжает оставаться важным этапом большинства научных работ, когда отсутствуют точные математические модели ОИ, динамика функционирования которых может быть представлена только интуитивно, например, функциями распределения случайных процессов, когда надо определить влияние случайных факторов на показатели эффективности целевого применения ОИ [1], определить чувствительность выбранной модели к исходным данным, к аппроксимации воспроизводимой динамики моделируемых предметных областей (ПрО).

В частности, виды моделируемых ПрО так же изменили привычные границы проблематики технических систем [2, 3], перейдя к производственно-экономическим вопросам [4, 5], а «далее везде» – здравоохранение [6], комплексные информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) «умного города» [7, 8], социальная сфера [9]. Для социальной среды процесс моделирования несколько усложняется, так как приходится учитывать когнитивные особенности моделируемых субъектов (человека), его поведение, превентивные оценки информационных действий.

Рассматриваемая активность имитационного моделирования объясняется, прежде всего, ростом цифровизации общества [10], включением ИКТ в инфраструктуру практически всех хозяйствующих субъектов. Задачи анализа процессов информационного взаимодействия значительно усложняются при организации жизнедеятельности в предметных областях, требующих применения междисциплинарных подходов, построенных на основе анализа разнородных данных и знаний, и направленных на выявление неожиданных идей и синергетических эффектов, которые могут стать основой новых технологий, обеспечивающих максимальную эффективность. Так, например, информационную инфраструктуру умного города, будем представлять как систему (целостное образование) множества информационных элементов и связей между ними, объединенных функциональными признаками в едином информационном пространстве умного города и обладающую эмерджентными свойствами, не сводящимися к свойствам входящих в это образование элементов [11].

При этом под структурой рассматриваемой междисциплинарной системы будем понимать способ организации ее элементов или части из них со своими взаимосвязями, формируемыми в соответствии с распределением функ-

ций и выполняемых целей в отдельных подсистемах ПрО, обеспечивая при этом устойчивость и тождественность системы себе самой при различных внутренних и внешних изменениях.

Междисциплинарный характер исследований явился первопричиной развития относительно новой парадигмы имитационного моделирования – агент-ориентированного моделирования (АОМ) [12]. АОМ выступает в качестве инструментария, как в оптимизационных задачах [5, 6] и задачах транспортными системами [8], так и для моделирования поведения субъектов социальной среды [9] с точки зрения соблюдения социальных норм, обеспечения социальных целей информационного взаимодействия социальных объектов [13], при организации распределенных вычислений.

Целью настоящего исследования является совершенствование научной и методической базы при разработке концептуального подхода в применении когнитивных агентов в задачах моделирования информационного взаимодействия объектов междисциплинарных предметных областей.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ

Особенностью современных информационных систем является возможность применения в критических ситуациях, динамику развития которых можно представить многовариантным (мультиценарным) вычислительным процессом, способным поддерживать режимы самодиагностики, самовосстановления, обеспечивая заданный уровень отказоустойчивости как программной, так и технической.

В широком смысле, под агентом понимают метаобъекты или интеллектуальные сущности, осуществляющие манипуляции с информационными объектами в рамках заложенных сценариев действий, уровня автономности и доступности данных, а также поставленных целей.

В узком смысле, агент – вычислительная система, помещенная во внешнюю среду, способная взаимодействовать с ней, совершая автономные рациональные действия для достижения определенных целей [14].

Одним из подходов разработки соответствующего программного обеспечения является агентно-ориентированное программирование на основе многоагентных систем (МАС) [14].

Активное применение, богатство и разнообразие различных реализаций МАС объясняется, прежде всего, основными свойствами, заложенными в концепцию интеллектуального агента (ИА). Это способность к автономному взаимодействию с внешней средой, обладающей недетерминированной реакцией на действия агента, способность адекватно и оперативно реагировать на изменения во

внешней среде, а также способность к социальному взаимодействию и кооперативному поведению. ИА представляют собой интеллектуальную конструкцию или программное обеспечение, которое осуществляет некоторый набор операций от имени пользователя или другой программы с определенной степенью независимости и автономии, используя, как предварительно заложенные базы знаний, так приобретенные в ходе функционирования (на этапах обучения) определенные знания и представления для достижения цели. ИА содержат наборы правил, которые позволяют осуществлять самоорганизацию. Интеллектуальный агент способен на гибкие автономные действия для достижения своих целей [12, 15]. Его характеризуют три свойства: реактивность, проактивность и социальность, представленные в табл. 1.

Таблица 1

### Основные свойства интеллектуальных агентов

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГЕНТА	ОПИСАНИЕ
Реактивность	Агент своевременно реагирует на изменения в окружающей среде, совершая целевые действия
Проактивность	Способность показывать управляемое целями поведение, самостоятельно генерировать цели и действовать для их достижения, а также строить рассуждения, планирование, коммуникации и координацию с другими агентами
Социальность	Способность согласовать свое поведение с поведением других агентов в условиях определенной среды, в том числе и выполнение постоянных обязательств
Рациональность	Ожидается, что агенты способны выбирать действия, оптимизирующие их ожидаемую производительность
Тактика	Способность устанавливать множественные цели и, вне зависимости от найденных им обстоятельств, ставить и решать локальные цели, осуществляя сценарное целевое управление

Оценка рациональности действий агента в конкретный момент времени зависит от четырех факторов: показателей производительности, знаний агента о среде, возможных действий и последовательности актов восприятия (окружающей среды), произошедших до настоящего времени.

Рациональный агент определяется следующим образом: в каждой возможной последовательности актов восприятия агент должен выбирать действие, которое, как ожидается, максимизирует его показатели производительности (эффективность применения), с учетом фактов, предостав-

ленных данной последовательностью актов восприятия, а также всей имеющейся у него информации и знаний.

Тактика поведения ИА предусматривает реализацию агентами функций регулирования и планирования, в ходе которых агент имеет возможность моделировать развитие ситуации, что позволяет ему более адекватно реагировать на текущие обстоятельства. При этом агенту необходимо учитывать не только свои действия и реакцию на них, но и формировать модели объектов и агентов окружающей среды для предсказания их возможных действий и реакций.

Организационная структура МАС определяется ролевыми функциями агентов и нормами их взаимодействия. Архитектура МАС задает взаимодействие агентов в системе. По организационной структуре МАС выделяют следующие типы агентов: агенты-исполнители и агенты-менеджеры – первые подчиняются вторым; агенты-координаторы, ответственные за организацию взаимодействия агентов; интерфейсные агенты, служащие для связи с внешней средой; каналные агенты, обеспечивающие обмен информацией в системе [11, 15].

Удобным инструментом, позволяющим проектировать поведение агентов, выступает абстрактная архитектура агента, в виде формализованных методов и процедур.

Состояния внешней среды агента представим множеством, а возможные действия агентов будем описывать множеством действий (actions), тогда одна из абстрактно агента можно представлять в виде отображения наблюдаемого агентом подмножества состояний внешней среды ( $S^*$ ) в набор возможных его ответных действий [14]:

$$action : S^* \rightarrow A . \tag{1}$$

Динамика изменения состояний внешней среды под воздействием агента может быть представлена следующей функцией:

$$Env : S \times A \rightarrow 2^S . \tag{2}$$

Взаимодействие агента со средой представляет собой последовательную смену состояний  $s_i, i = 0, 1, \dots$ , за счет соответствующей последовательности действий агентов –  $a_i, i = 0, 1, \dots$ , что выражается структурой вида [14]:

$$h : s_0 \xrightarrow{a_0} s_1 \xrightarrow{a_1} \dots s_{k-1} \xrightarrow{a_{k-1}} s_k , \tag{3}$$

где  $h$  – последовательность вида «состояние-действие» представляет собой программу (сценарий) действий агента в виде плана реализации заданных целей, как прогнозирующей функции вида:

$$plan : 2^{Goals} \times Progs \rightarrow Plans \tag{4}$$

и функцию формирования возможного сценария

$$scen : Plans \times T \rightarrow 2^{Goals} , \tag{5}$$

как некоторую временную программу подключения отдельных планов в зависимости от целевого предпочтения.

### BDI – АГЕНТЫ

Основой для представления интеллектуальных агентов является когнитивные архитектуры, основанные на когнитивных науках и направленные на максимально точное описание когнитивных процессов человека [12]. Термин «архитектура» подразумевает подход, который позволяет максимально точно моделировать не только поведение, но и структурные свойства моделируемой системы. Все чаще исследователи обращаются к построению моделей агентов, основанных на BDI архитектуре, в логике которых заложены три интенциональных<sup>1</sup> состояния (убеждения – Beliefs, желания – Desires, намерения – Intentions). С их помощью строится поведение агента по выбору действий, базируясь на знаниях о внешнем мире (окружающей среде), воспроизводя уровень человеческого разума, сознательно манипулируя концепциями и осуществляя необходимые коммуникации для этого.

Основные элементы BDI архитектуры представлены на рис. 1:

- убеждения – знания агента о среде, в частности, о других агентах; это те знания, которые могут изменяться во времени и становиться неверными, однако агент может не иметь об этом информации и продолжать оставаться в убеждении, что на них можно основывать свои выводы;
- знания (в составе базы данных) – это постоянная часть знаний агента о себе, среде и других агентах, которая не изменяется в процессе его функционирования;
- желания – это состояния, ситуации, достижение которых по разным причинам является для агента желательным; желания могут быть противоречивыми в том или ином смысле (быть физически нереализуемыми, взаимно исключать друг друга, конфликтовать по ресурсам для выполнения различных желаний, по временному фактору и т. п.); агент может выбирать в качестве мотивационной компоненты своего поведения только некоторое непротиворечивое подмножество желаний;
- цель – это принятое для исполнения агентом текущее желание (единственное для данного момента времени);
- намерения – это то, что агент или обязан сделать в силу своих обязательств по отношению к другим агентам или он обязан это делать в соответствии со своим выбором (т.е. в соответствии с выбором непротиворечивого подмножества желаний, совместимого с ранее принятыми

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 10002–2020 «Удовлетворенность потребителя. Руководящие указания по управлению претензиями в организациях». – Издание официальное. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – С. 25.



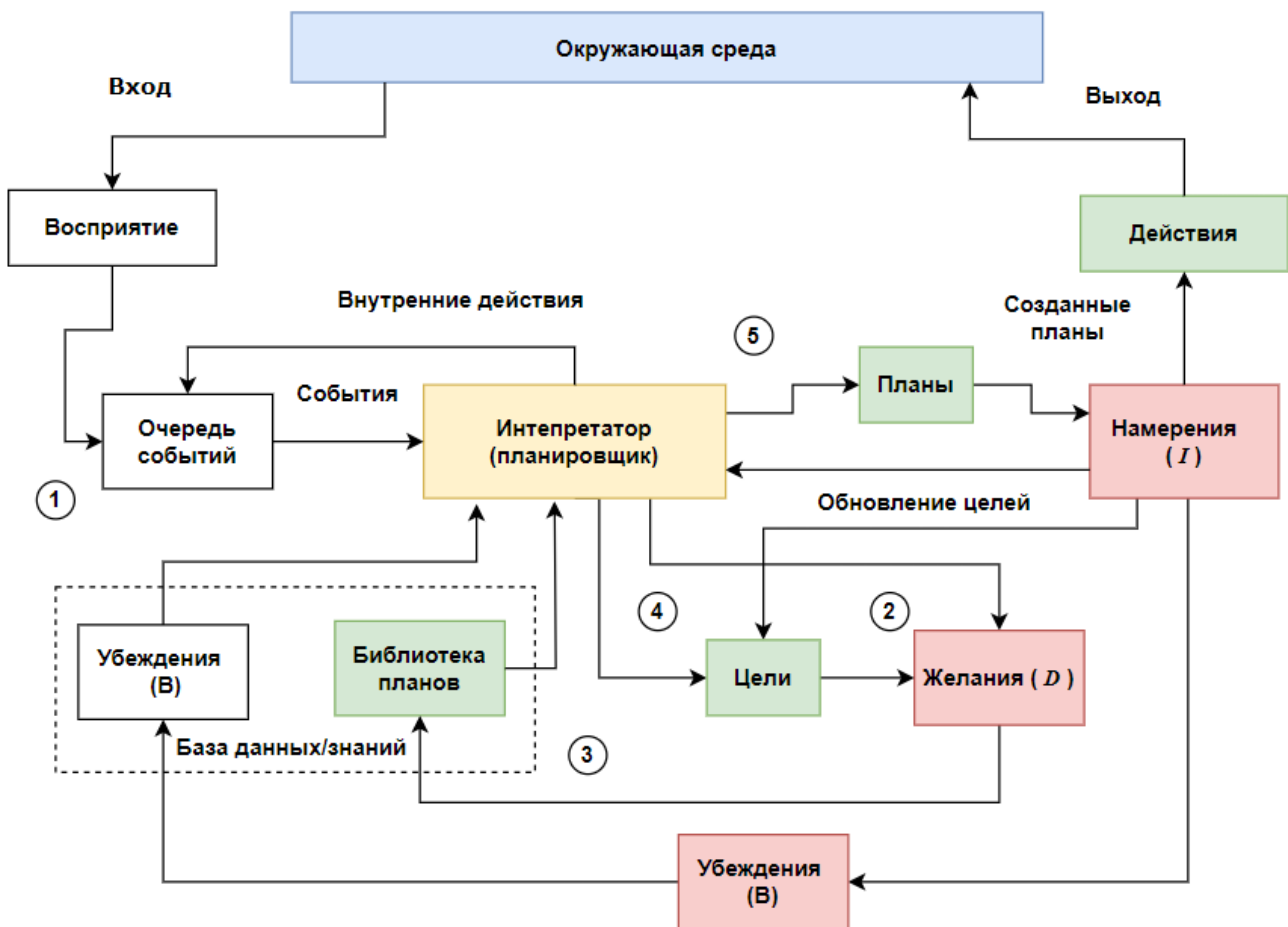


Рис. 1. Структура BDI-архитектуры

обязательствами, имеющимися ресурсами, располагаемым временем и т.п.);

- план: это последовательность действий, которые агент может выполнить для достижения одного или нескольких своих намерений; окончательный план может включать в себя последовательность некоторых более детализированных планов.

Внутренний интерпретатор BDI-агента непрерывно поддерживает некоторый циклический процесс (процессы), включающий следующие шаги [16]:

- воспринимает окружающую среду и формирует очередь событий;
- генерирует возможные желания на основании планов из библиотеки планов (БП), выполнение которых осуществляется в текущий момент;
- выбирает (уточняет) план из БП для заданного времени;
- уточняет желаемое значение на основании цели (подцели), включая корректировку целей;
- в стеке намерения выполняется текущая операция плана: либо это действие, направленное во внешний

мир, либо это очередная подцель, которую направляют в очередь событий;

- переход цикла к шагу 1.

Представленные в таблице свойства ИА можно интерпретировать, как этапы развития агентного подхода, т.к. практика демонстрирует комплексное применение указанных свойств в виде гибридных моделей [17]. Состояния внешнего мира получают описание в информационной системе ИА. База знаний, информационные (коммуникационные) каналы определяют набор действий агента, упорядоченная последовательность во времени которых образует план. В итоге, агент генерирует множество возможных структур, обеспечивающих достижение цели, но выбирает ту, которая может обеспечить максимальную полезность в реальном ресурсном сечении. При этом может подключаться режим обучения, когда обнаруживается дефицит правил с целью генерации правила, основываясь на реализованных логических исчислениях. В зависимости от полноты знаний агента о среде и своих действиях исчисление может быть дедуктивным, индуктивным, правдоподобным, модальным, «мягким» и т.п. В качестве примера, можно при-

вести специальную модальную логику, предложенную для описания агентов, действующих в среде, при отсутствии полных знаний о ней [18].

### СПЕЦИФИКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

АОМ является сравнительно новым подходом к моделированию систем, состоящих из автономных взаимодействующих агентов. Принятая в зарубежной печати аббревиатура ABMS (agent-based modelling and simulation) [19], а также просто агентное моделирование (ABM – agent-based model). В основе инструментария моделирования в данных моделях лежат автоматные модели, однако для полного описания процессов взаимодействия МАС применяются элементы теории игр, теории сложных систем, эволюционного программирования, а для поддержания аппаратно-программной части моделей – методы машинного обучения, интеллектуального анализа данных и ряд других.

Возможность адаптации к различным ПрО, способность воспроизводить поведение и мотивации человека делают АОМ востребованным инструментом исследования во многих областях.

Существует деление агентно-ориентированных моделей на [19]:

- индивидуальные, в которых агенты, обладая различными характеристиками, действуют в модели представлены индивидуально;
- автономные, в которых агенты обладают внутренним поведением, позволяющим им быть автономными, способными в любой момент оценивать состояние (в рамках модели), и строить свои действия на этой основе;
- интерактивные, в которых автономные агенты взаимодействуют с другими агентами и с окружающей средой;
- адаптивные, в которых взаимодействующие автономные агенты изменяют свое поведение во время моделирования, в ходе обучения, сталкиваясь с новыми ситуациями (при корректировке планов, переназначении целей, изменении состава агентов и др.).

В табл. 2 представлены указанные модели, различие в которых демонстрируется в присущих им свойствах индивидуальности, автономности, интерактивности и адаптивности. Для наглядности приведены примеры задач моделирования на их основе.

Таблица 2

#### Спецификация, разъясняющая применение маркировочных знаков в целях функционирования системы прослеживаемости при приготовлении супа куриного с картофелем

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АОМ	СВОЙСТВА АГЕНТА				
	ИНДИВИДУАЛЬНОСТЬ	ПОВЕДЕНИЕ	ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	АДАПТИВНОСТЬ	ПРИМЕРЫ
Индивидуальная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>а</sup>	Предписанное, поведенческие сценарии <sup>†</sup>	Ограниченны	Нет	Модель трафика, в которой агенты перемещаются между парами отправитель–получатель в соответствии со сценарием
Автономная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>а</sup>	Автономное, динамическое <sup>‡</sup>	Ограниченны	Нет	Модель налогообложения, при которой агенты выбирают профессии и места для работы, но не взаимодействуют друг с другом
Интерактивная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>а</sup>	Автономное, динамическое <sup>‡</sup>	Между другими агентами и окружающей средой <sup>‡</sup>	Нет	Модель инфекционных заболеваний, в которой агенты передаются и заражаются контактным путем и реагируют на свое болезненное состояние в соответствии с предписанным поведением

Адаптивная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>°</sup>	Автономное, динамическое†	Между другими агентами и окружающей средой	Агенты меняют поведение во время моделирования <sup>°*</sup>	Модель здравоохранения, в которой агенты меняют свое поведение в зависимости от состояния своего здоровья
----------------	--	---------------------------	--	--	---

<sup>°</sup>Агенты в популяции обладают различными множествами характеристик;

† Поведение агента основано только на внешних событиях во время моделирования;

‡ Поведение агента является эндогенным, основанным на текущем состоянии агента;

‡ Поведение агентов основано на наблюдаемых состояниях, поведении других агентов и состоянии окружающей среды;

<sup>°\*</sup>Агенты изменяют поведение во время моделирования, агенты учатся и/или популяции корректируют свой состав.

Представленную выше динамику функционирования BDI-агентов (рис. 1) и формализм в виде выражений (1)–(5) обобщим в виде некоторого целевого цикла функциональных переходов для агентов, опуская возможные обратные и перекрестные связи технологического характера, которые будут предметно рассмотрены во второй части данной статьи.

В укрупненном виде основные этапы действий агента (см. рис. 2) включают:

**Наблюдение.** На этом этапе собирается информация о текущих условиях окружающей среды и сопоставляет эти условия с предписаниями. Этот шаг зависит от контролируемой ПрО.

**Обновление базы данных/ знаний (БД).** БД агента будет обновляться в трех случаях: (1) по результатам наблюдения за окружающей средой; (2) по результатам выполненных им (агентом) действий; (3) в результате полученных коммуникационных сообщений (от внешних источников – других агентов, центра управления и др.). Во всех случаях обновление функции должно проверять всю БД на наличие несоответствий.

**Принятие решений.** Здесь агенты принимают два отдельных решения:

(1) какое действие выполнить; (2) какое сообщение передать и кому.

**Коммуникации.** В среде МАС агенты не могут заставить других агентов выполнить определенное действие или напрямую изменить их базу данных (знаний). Однако они могут оказывать влияние на других агентов посредством коммуникативных действий, посредством отправки и получения сообщений.

**Действия.** Функциональная нагрузка этого этапа состоит в том, чтобы обеспечить успешное, согласованное и безо-

шибочное выполнение оптимального действия, рекомендованного механизмом принятия решений агентом.

Агентное моделирование связано с моделированием взаимодействия агентов. Основными вопросами моделирования взаимодействия агентов являются установление связей между средой и агентами, а также механизмы, определяющие природу взаимодействий. Для социальных агентов основными структурами взаимодействия агентов выступают сети. А результаты моделирования позволяют определить окружение агента в более общем плане и более точно описать модели взаимодействия социальных агентов.



Рис. 1. Структура BDI-архитектуры

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, агентно-ориентированные модели, представляющие собой когнитивные архитектуры, по сути являются «интеллектуальными» системами, которые когнитивно реалистичны и, следовательно, во многих отношениях

более могут достоверно реализовывать действия человека (оператора) в человеко-машинных системах автоматизированных комплексов. Они позволяют существенно приблизить результаты познавательной деятельности человека в ходе его практической работы (управления, принятия решений, анализа обстановки и др.), представляя полезные инструменты для продвижения науки о познании. Кроме того, данный подход может (частично) служить основой для понимания коллективного человеческого поведения и социальных явлений.

Этот подход требует, чтобы важные элементы моделей были четко прописаны, что помогает в разработке более совершенных, концептуально более ясных теорий. Во второй части планируется рассмотреть применение рассмотренного подхода на этапах поддержки принятия решений, в ходе решения задач планирования и прогнозирования в условиях ограниченных ресурсов и действующих мешающих факторов.

#### Список использованных источников и литературы

1. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Суррогатное моделирование распределенных информационных систем по большим данным // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2019. № 5 (51). С. 43–50.
2. Козлов С.В., Кубанков А.Н. Научно-методические проблемы интеграции и синхронизации функциональных процессов в жизненном цикле систем управления // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2019. Т. 10, № 3. С. 52–57.
3. Новые подходы к обеспечению безопасности роботов в промышленной среде / Н.Р. Анисимов, В.А. Фролов, Ю.В. Будкин, А.В. Князев // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 12–17.
4. Аронов И.З., Бурый А.С., Рыбакова А.М. Умная экономика замкнутого цикла: основа цифровых стратегий производственных компаний. Часть 2. Циркулярные бизнес-модели // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5 (69). С. 17–26.
5. Стохастическая модель качества группового взаимодействия экономических агентов / М.И. Ломакин, А.В. Докукин, Ю.М. Ниязова, А.Е. Гарин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6 (70). С. 49–53.
6. Масюк Н.Н., Куликова О.М., Усачева Е.В. Применение имитационного моделирования и агентного подхода при решении задач планирования и оптимизации в здравоохранении РФ // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2020. Т. 14, № 3. С. 198–207. DOI 10.17238/issn1998-5320.2020.14.3.24.
7. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26.
8. Акопов А.С., Бекларян Л.А. Моделирование динамики дорожно-транспортных происшествий с участием беспилотных автомобилей в транспортной системе «умного города» // Бизнес-информатика. 2022. Т. 16. № 4. С. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.4.19.35
9. Чернов И.В., Шелков А.Б. Сценарный подход к исследованию возможностей инновационного развития сельского хозяйства в современных условиях // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD-2022): Труды Пятнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2022 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2022. – С. 996K1005.
10. Сибел Т. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 256 с.
11. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные технологии цифровой трансформации умных городов // Правовая информатика. 2022. № 2. С. 4–13.
12. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
13. Куляница А.Л., Фомичева О.Е. Многоагентная ЭДА-модель для организационных предметных областей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 47–60.
14. Бугайченко Д.Ю., Соловьев И.П. Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы её реализации // Системное программирование. 2005. Т. 1, № 1. С. 36–67.
15. Булгаков С.В. Применение мультиагентных систем в информационных системах // Перспективы науки и образования. 2015. № 5 (17). С. 136–140.
16. Швецов А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям // Всероссийский отбор обзорно-аналитических конкурсных статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы»: электронное издание. М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2008. 101 с.

17. Шевкунов М.А. Формирование беспилотных систем на основе гибридных архитектур интеллектуальных агентов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 3/4 (73). С. 42–50.
18. Поспелов Д.А. От моделей коллективного поведения к многоагентным системам // Программные продукты и системы. 2003. № 2. С. 39–44.
19. Macal C.M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation // Journal of Simulation. 2016. Т. 10, No 2. С. 144–156.

# THE EVOLUTION OF AGENT-BASED MODELING.

## Part 1. Architecture of an intelligent agent

**Buryi A.S.**, Doctor of Sciences in Technology, Russian Standardization Institute, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences

**Frolov V.A.**, Doctor of Sciences in Technology, professor, Russian Standardization Institute

**Kulyanitsa A.L.**, Doctor of Sciences in Technology, professor, Russian Standardization Institute

*An agent-based approach to modeling information systems in various complex subject areas (science, production, education, health-care, economics, environment, etc.), which has been actively developing recently, is considered. Advances in computer technology have made it possible to model large-scale systems, take into account social and behavioral factors of interaction of the surrounding world.*

*One of the solutions to these difficulties is the modeling of people and information processes for their interaction as agents of beliefs, desires and intentions (BDI agents). A generalized structure of an intelligent agent based on the BDI architecture, recommendations for the use of the main types of agent-based modelling and simulation, is proposed. The purpose of this study is to improve the scientific and methodological base in the development of a conceptual approach to the application of cognitive agents in the tasks of modeling information interaction between objects of interdisciplinary subject areas*

**Keywords:** agent-based modelling and simulation, intellectual agent, cognitive architecture, information interaction.

### References

1. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Surrogatnoe modelirovanie raspredelennykh informacionnykh sistem po bol'shim dannym. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya 2019, № 5 (51), Pp. 43–50.
2. Kozlov S.V., Kubankov A.N. Nauchno-metodicheskie problemy integracii i sinhronizacii funkcional'nykh processov v zhizennom cikle sistem upravleniya. Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov, 2019, vol. 10, № 3, Pp. 52–57.
3. Anisimov N.R., Frolov V.A., Budkin YU.V., Knyazev A.V. Novye podhody k obespecheniyu bezopasnosti robotov v promyshlennoj srede. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, № 1 (65), Pp. 12–17.
4. Aronov I.Z., Buryi A.S., Rybakova A.M. Umnaya ekonomika zamknutogo cikla: osnova cifrovyykh strategij proizvodstvennykh kompanij. Part 2. Cirkulyarnye biznes-modeli Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, № 5 (69), Pp. 17–26.
5. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Niyazova YU.M., Garin A.E. Stokhasticheskaya model' kachestva gruppovogo vzaimodejstviya ekonomicheskikh agentov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, № 6 (70), Pp. 49–53.
6. Masyuk N.N., Kulikova O.M., Usacheva E.V. Primenenie imitacionnogo modelirovaniya i agentnogo podhoda pri reshenii zadach planirovaniya i optimizacii v zdavoohranenii RF. Nauka o cheloveke: gumanitarnye issledovaniya, 2020, vol. 14, № 3, Pp. 198–207. <https://doi.org/10.17238/issn1998-5320.2020.14.3.24>
7. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye struktury umnogo goroda na osnove kiberfizicheskikh sistem. Pravovaya informatika, 2022, № 4, Pp. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26>
8. Akopov A.C., Beklaryan L.A. Modelirovanie dinamiki dorozhno-transportnykh proisshestvij s uchastiem bespilotnykh avtomobilej v transportnoj sisteme «umnogo goroda». Biznes-informatika, 2022, vol. 16, № 4, Pp. 19–35. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.4.19.35>
9. Chernov I.V., Shelkov A.B. Scenarnyj podhod k issledovaniyu vozmozhnostej innovacionnogo razvitiya sel'skogo hozya-jstva v sovremennykh usloviyah. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2022) : Trudy Pyatnadcatoj mezhd-

- dunarodnoj konferencii, Moskva, 26–28 sentyabrya 2022 goda. Pod obshchej redakciej S.N. Vasil'eva, A.D. Cvirikuna. Moscow: IPU im. V.A. Trapeznikova RAN Publ., 2022, Pp. 996–1005.
10. Siebel T.M. Digital Transformation. Survive and Thrive in an Era of Mass Extinction. RosettaBooks, NY, 2019.
  11. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye tekhnologii cifrovoj transformacii umnyh gorodov. Pravovaya informatika, 2022, № 2, Pp. 4–13. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-2-04-13>
  12. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizaciyam: filosofiya, psihologiya, informatika. Moscow, Editorial URSS Publ., 2002, 352 p.
  13. Kulyanica A.L., Fomicheva O.E. Mnogoagentnaya EDA-model' dlya organizacionnyh predmetnyh oblastej. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal), 2016, no. 7, pp. 47–60.
  14. Bugajchenko D.YU., Solov'ev I.P. Abstraktnaya arhitektura intellektual'nogo agenta i metody eyo realizacii. Sistemnoe programirovanie, 2005, vol. 1, № 1, Pp. 36–67.
  15. Bulgakov S.V. Primenenie mul'tiagentnyh sistem v informacionnyh sistemah. Perspektivy nauki i obrazovaniya, 2015, № 5 (17), Pp. 136–140.
  16. Shvetsov A.N. Agentno-orientirovannye sistemy: ot formal'nyh modelej k promyshlennym prilozheniyam. Vserossijskij otbor obzorno-analiticheskikh konkursnyh statej po prioritetnomu napravleniyu "Informacionno-telekommunikacionnye sistemy": elektronnoe izdanie, Moscow, FGU GNII ITT "Informika" Publ., 2008, 101 p.
  17. Shevkunov M.A. Formirovanie bespilotnyh sistem na osnove gibridnyh arhitektur intellektual'nyh agentov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, № 3/4 (73), Pp. 42–50.
  18. Pospelov D.A. Ot modelej kollektivnogo povedeniya k mnogoagentnym sistemam. Programmnye produkty i sistemy, 2003, № 2, Pp. 39–44.
  19. Macal C.M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. Journal of Simulation, 2016, vol. 10, No. 2, Pp. 144–156.

# СВОЙСТВА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ

**Морозов В.П.**, д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО ВГТУ

**Белоусов В.Е.**, канд. техн. наук, доц., доц. ФГБОУ ВО ВГТУ

**Мистров Л.Е.**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Центрального филиала «РГУП», гл. спец. ФГБУ «Институт стандартизации»

**Сырин А.И.**, соискатель, Войсковая часть 38953-к

*В статье предложено определение нейроморфной системы и раскрыты основные причины ее появления, такие как: продуктивное исследование информационных процессов в различных биологических системах, в том числе мозге человека; появление спайковых (импульсных) сетей – нового класса нейронных сетей, адекватно моделирующих подобные информационные процессы; необходимость реализации полученных знаний в данной предметной области на практике в виде нейроморфных процессоров, возможности по быстродействию которых на порядки превышают возможности существующих самых производительных процессоров. Приведено описание свойств мозга человека, которые требуют глубокого изучения и внедрения их в перспективных образцах разрабатываемых нейроморфных систем. К таким свойствам следует отнести: способность мышления; энергоэкономичность; непрерывный характер взаимодействия с внешней асинхронной средой; масштабируемость; оперативное решение не тривиальных когнитивных задач; разнообразие видов мозга; параллельная обработка разнородной информации.*

*Показано, что наиболее важным свойством мозга человека является способность мышления. Предложено рассматривать нейроморфные системы как биокиберфизические системы – новый класс информационных социокиберфизических систем, включающих бионическую, кибернетическую и физическую подсистемы. Бионическая подсистема включает модели и механизмы – базис для программ и исполнительных устройств остальных подсистем. Представлена формализованная модель информационных процессов мозга человека, которую целесообразно учитывать в нейроморфных системах.*

**Ключевые слова:** информационные процессы, нейроморфная система, свойства мозга человека, рекуррентная нечеткая нейронная сеть.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из передовых современных направлений исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) являются нейроморфные вычисления (НВ), прикладным аспектом которых выступает разработка на их основе нейроморфных систем (НМФС) [1].

Основные причины появления НМФС: во-первых, углубленное изучение принципов обработки информации в биологических системах, начиная от мозга и нервной системы простейших и, заканчивая головным мозгом и нервной системой человека, во-вторых, интенсивное и про-

дуктивное изучение спайковых (импульсных) нейронных сетей – одного из классов искусственных нейронных сетей (ИНС) третьего поколения [2,3], наиболее адекватно отражающих информационные процессы, происходящие в биологических системах, в-третьих, желание сделать современные вычислительные средства (микропроцессоры, персональные компьютеры, суперкомпьютеры и др.) более производительными и с низким энергопотреблением.

Анализ литературы [4–8] показывает, что НМФС могут быть определены, как системы обработки информации, базирующиеся на моделях функционирования мозговой деятельности нейробиологических объектов, построенных



на спайковых нейронных сетях, позволяющих эти модели реализовать, в интересах достижения поставленных целей.

Поскольку НМФС являются малоизученными и требуют к себе более внимательного рассмотрения в интересах совершенствования дальнейших теоретических исследований, изготовления более эффективных нейропроцессоров, а также организации учебного процесса в данной предметной области, то данная статья, целью которой является систематизация знаний в области изучения свойств НМФС и происходящих в них информационных процессов, является актуальной в научном, практическом и учебном аспектах.

### ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Рассмотрим свойства и информационные процессы, происходящие в наиболее совершенной биологической системе – мозге человека (МЧ).

Самым важным свойством МЧ, лежащим в основе познавательного процесса человека, является способность мышления. Процесс мышления представляет собой динамичное изменение нескольких основных состояний МЧ: ощущения; восприятия; представления. При этом состояния ощущения и восприятия имеют непосредственное отношение к конкретной действительности, а состояние представления связано с ее опосредованным отражением (субъективным представлением человека). Именно состояние представления приводит МЧ к генерации новых идей и получению новых знаний.

Процесс мышления человека может быть определен, как «... процесс отражения наиболее существенных свойств предметов и явлений действительности, а также наиболее существенных связей и отношений между ними, что в конечном итоге приводит к получению нового знания о мире. На основе возникающих ассоциаций между отдельными представлениями, понятиями создаются новые суждения и умозаключения» [9].

Познание данного процесса, его копирование и воспроизведение техническими устройствами будоражит умы исследователей и конструкторов уже много веков. Результаты их деятельности не безуспешны, но весьма далеки от конечного результата – создания точной (максимально адекватной) модели информационного процесса мышления (ТМИПМ). Несмотря на то, что проводимые исследования в данной предметной области внушают оптимизм, тем не менее рассчитывать на получение приемлемого результата в ближайшей перспективе не приходится. Можно считать, что достижение данного результата является долгосрочной стратегической задачей ИИ.

Кроме свойства мышления, МЧ обладает и другими важными свойствами, которые необходимо учитывать при разработке НМФС.

Перечень таких важных свойств МЧ представлен на рис. 1.



Рис. 1. Перечень важных свойств мозга человека

Проведенные эксперименты показали, что МЧ в процессе функционирования потребляет энергии на несколько порядков меньше, чем самые совершенные НМФС. Известно, что значение энергоёмкости МЧ лежит в диапазоне 20–30 Вт, а для одного из типов современных суперкомпьютеров – «Кристафари» – представителя НМФС значение данной характеристики составляет около 1 МВт. В этом проявляется первое важное свойство МЧ – энергоэкономичность. Реализация данного свойства применительно к НМФС станет возможной, когда будет построена ТМИПМ.

Вторым важным свойством МЧ является обеспечение им непрерывного взаимодействия человека с внешней асинхронной средой. В данном контексте под асинхронной средой понимается широкий спектр разнородных непрерывных динамических информационных потоков внешней обстановки, окружающих человека. Человек способен их постоянно воспринимать (слышать, видеть, ощущать и др.) и избирательно с ними взаимодействовать (обращать на них внимание), причем сразу с несколькими (например, писать и слушать музыку и др.). Для современных НМФС это пока не достижимо. Лежащие в их основе ИНС, взаимодействуют с внешней средой только по какому-то одному протоколу и весьма жесткому. Обученная ИНС возвращает результат (число, массив, фрейм и др.) по мере того, как она в синхронном режиме преобразует (пересчитывает) свое состояние.

Свойство масштабируемости является третьим важным свойством МЧ. Его суть заключается в том, что человек способен решать сложные когнитивные задачи в условиях ограниченного объема МЧ (числа нейронов и синаптических связей). Несмотря на то, что их много (на один см<sup>2</sup> ткани МЧ приходится в среднем 10<sup>6</sup> нейронов и 10<sup>10</sup> синапсов), тем не менее их число ограничено. Механизмы функционирования МЧ при решении задач различного уровня когнитивности и получаемые при этом результаты

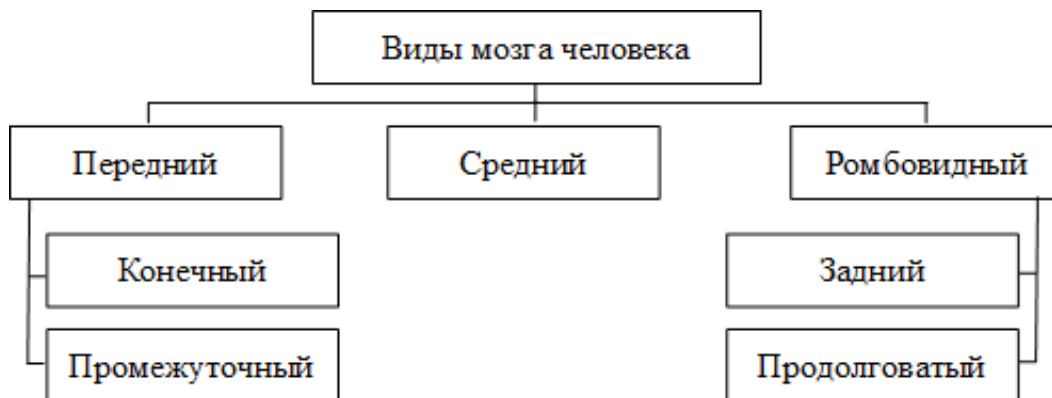


Рис. 1. Разновидности мозга человека

экспериментов в настоящее время отсутствуют. При этом суть гипотез о существовании таких механизмов заключается в следующем: 1) существующие ассоциации нейронов и синаптических связей являются универсальными и способны решать когнитивные задачи различной сложности; 2) решение сложных когнитивных задач локализовано (существуют локации решения простых и сложных задач); 3) в зависимости от степени сложности, возрастает локализация (масштабируемость); 4) существует комбинация этих механизмов. Данные гипотезы нуждаются в проверке, что составит суть следующих исследований. Однако уже сейчас можно сделать вывод о том, что для МЧ в рамках решения сложных когнитивных задач, характерна гибкая масштабируемость. Применительно к решению сложных когнитивных задач с помощью НМФС в настоящее время существует лишь механизм прямого масштабирования, состоящий в наращивании сложности используемых моделей, базирующихся на ИНС. При этом число нейронов в таких ИНС увеличивается до  $10^7$ , а число синаптических связей возрастает до  $10^{12}$ . В итоге, с использованием даже самых мощных суперкомпьютеров, на обучение такой громоздкой ИНС могут затрачиваться месяцы.

Четвертое важное свойство МЧ – оперативное решение нетривиальных когнитивных задач тесным образом связано с предыдущим свойством – масштабируемостью в части обучения ИНС. Однако имеется еще один момент, имеющий непосредственное отношение к данному свойству. Некоторые люди творческих профессий (ученые, художники и др.) обладают способностью оперативного решения нескольких нетривиальных когнитивных задач, близких по содержанию в рамках некоторой предметной области. При этом время, затрачиваемое на их решение, может исчисляться от нескольких минут до нескольких часов. Для НМФС достичь подобных результатов в настоящее время не представляется возможным. Для решения каждой задачи НМФС должна обучиться или дообучиться путем обработки

определенного множества предварительной информации. Для сбора такой информации и ее упорядочения (формализации для восприятия НМФС) потребуется время. Если к нему добавить временные затраты на обучение (дообучение) НМФС, то о какой-либо приемлемой оперативности речи быть не может. Разница между оперативностью МЧ и НСФС составляет порядки и временной горизонт преодоления этого барьера пока не просматривается.

Разнообразие видов мозга является пятым важным свойством МЧ. Рассматривая строение МЧ с позиций системного подхода, можно утверждать, что в качестве основных элементов в его состав входят около 90 млрд нейронов [10], 300 млрд глиальных клеток [11] и 300 триллионов синаптических связей [12]. На каждый  $\text{см}^2$  ткани головного мозга приходится  $10^6$  нейронов и  $10^{10}$  синапсов [11]. Это колоссальное число элементов распределено между некоторыми подсистемами – видами мозга, которые в схематичном виде представлены на рис. 2.

Передний мозг – наиболее развитая структура (подсистема) МЧ. Он обеспечивает реализацию личностных, поведенческих и психологических функций человека [12]. В его состав входят две подсистемы: конечный и промежуточный мозг. Конечный мозг является самой развитой и наиболее крупной структурой МЧ. На его основе реализуются следующие функции: регуляция движений; условная рефлексия; речь; зрение; обоняние; вкус; слух и др. Промежуточный мозг находится между конечным и средним МЧ. Он обеспечивает реализацию таких функций человека, как нейрогуморальную регуляцию, терморегуляцию, сон, бодрствование и др.

Средний мозг – структура МЧ, которая практически не претерпела эволюционных изменений, начиная от простейших (хордовых) животных и заканчивая человеком. На его основе реализуются такие основные функции, как возбуж-

дение центральной нервной системы, мотивация, ретрансляция зрительных и слуховых импульсов в таламус и др.

Ромбовидный мозг является одним из компонентов центральной нервной системы, обеспечивающий инициализацию и координацию дыхания и кровообращения человека. Данный вид мозга также участвует в реализации вегетативных и соматических рефлексов. В структурном плане он включает задний и продолговатый виды мозга. Основными функциями заднего мозга являются реализация: тактильных ощущений, мимики лица и глазных движений и др. Продолговатый мозг реализует функции дыхания, координации сердечной деятельности; пищеварения и др.

Анализ данного свойства позволяет сделать несколько выводов: во-первых, МЧ может быть представлен в виде совокупности различных мозговых центров, взаимосвязанных между собой для обеспечения жизнедеятельности человека и решения множества других задач; во-вторых, структура МЧ принципиально отличается от конфигурации современных НМФС, что обуславливает необходимость формирования ТМИПМ, внедрение которой позволит существенно приблизить характеристики НМФС к эталонным – характеристикам МЧ.

Шестым важным свойством МЧ является реализация им параллельной обработки разнородной информации. Данное свойство имеет тесное единство со вторым свойством МЧ, при раскрытии сути которого разнородная информация была представлена в виде совокупности непрерывных динамических информационных потоков внешней обстановки, окружающих человека. Он ее воспринимает и соответствующим образом на нее реагирует. Действительно, в процессе ходьбы человек анализирует окружающую обстановку и, в соответствии с ее особенностями, координирует свои движения (изменяет длину шага, прекращает движение и др.). В тоже время человек во время ходьбы может вести с кем-то осмысленную беседу или слушать музыку. Причем он может делать это одновременно (параллельно). К сожалению, современные НМФС, в виду особенности их конфигурации (отсутствии центров параллельной обработки информации), на это не способны. Возможно данное свойство будет реализовано в НМФС в ближайшей перспективе.

Важное значение для разработки НМФС имеет знание информационных процессов, происходящих в МЧ. Другими словами, необходимо понимание того, какие действия с информацией происходят в МЧ. Ранее авторами рассматривались информационные социокиберфизические системы (ИСКФС) [13–15], в которых описывались информационные процессы взаимодействия человека – лица, принимающего решения, с учетом его психологических особенностей, с кибернетическими (программными) и физическими (аппаратными) подсистемами. Однако для изучения НМФС целесообразно рассмотрение нового

класса ИСКФС – биокиберфизических систем (БКФС), включающих бионическую, кибернетическую и физическую подсистемы. Назначение и особенности двух последних подробно изложено в [13].

Бионическая подсистема представляет собой набор моделей и механизмов, лежащих в основе функционирования разрабатываемой БКФС. Причем используемые в ней модели и механизмы построены на принципах функционирования реальных биологических объектов.

В рамках данной статьи НМФС является БКФС, в бионической подсистеме которой используется общая целеполагающая модель информационных процессов МЧ. Физически данная модель представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих объектов (элементов) – мозговых центров, способных манипулировать с информацией (запоминать, обрабатывать, обмениваться и др.) и вырабатывать управляющие воздействия на различные органы человека.

В символьном виде модель представляется следующим образом.

Дано:

1) Внешняя асинхронная среда представлена набором параметров  $n$ :

$$Q(t) = (q_1, q_2, \dots, q_n)$$

2) Система МЧ представлена набором параметров  $m$ :

$$S(t) = (s_1, s_2, \dots, s_m)$$

3) Система МЧ имеет набор сенсоров разной модальности, на основе которых она, взаимодействуя с внешней асинхронной средой  $Q$ , получает наборы сенсорных информационных воздействий следующих видов: визуальных –  $V = V(S, Q)$ ; слуховых –  $C = C(S, Q)$ ; обонятельных –  $O = O(S, Q)$ ; тактильных –  $T = T(S, Q)$ ; вкусовых –  $A = A(S, Q)$

4) Система МЧ (мозжечок) генерирует внутреннюю гироскопическую информацию о местоположении тела человека:  $G = G(S, Q)$

5) Внутри системы МЧ в непрерывном режиме независимо от воздействия внешней среды происходят следующие информационные процессы: обмен информацией –  $I_e = I_e(S)$ ; хранение информации –  $I_x = I_x(S)$ ; обработка информации –  $I_o = I_o(S)$

6) В процессе функционирования система МЧ формирует управляющее воздействие на человека  $Y(t)$ ,  $S(t) = S(Y(t))$

7) Цель управления – обеспечить оптимальную траекторию поведения человека (например, ходьба в лесу) с учетом оптимизации критерия

$$K = K(V(t), C(t), O(t), T(t), A(t), G(t), I_g(t), I_x(t), I_o(t))$$

(воспринимать запахи, пение птиц и др).

Требуется найти: функцию управления

$$Y(t) = Y(V, C, O, T, A, G, I_g, I_x, I_o)$$

зависящую от переменных  $V, C, O, T, A, G, I_g, I_x, I_o$   $V, C, O, T, A, G, I_g, I_x, I_o$  обеспечивающую движение человека в интересах оптимизации критерия  $K$ :

$$K = K(V, C, O, T, A, G, I_g, I_x, I_o) \rightarrow K_{opt}$$

Особенностью данной модели является зависимость сенсорных воздействий на МЧ, от состояний асинхронной среды и самого МЧ. Поскольку исходное состояние среды характеризуется неопределенностью, то определение функции управления в аналитическом виде не представляется возможным, как и реализация поиска решения аналитическим путем. Закон управления может носить нелинейный характер, зависеть от времени и содержать разнородные составляющие (аналоговые и дискретные). Это затрудняет учет ограничений и выбор вида требуемых функциональных преобразований для поиска закона управления. В интересах выбора максимально полного базиса функциональных преобразований для решения столь сложной задачи целесообразно использовать сетевые структуры динамических нейронов [16] вообще или адаптивные резонансные нейронные сети, в частности (например, FuzzyART и др.) [17]. Фрагмент типовой структуры рекуррентной нечеткой нейронной сети приведен на рис. 3.

Поиск решения данной задачи в таком базисе заключается в синтезе конфигурации нейронной сети, способной к реконфигурации ее составных частей во времени, ее обучении и тестировании. Необходимость реконфигурации сети обусловлена динамическим изменением локальных целей системы на отдельных отрезках времени и соответствующим изменением на них ее функциональных возможностей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы данной статьи направлены на изучение свойств и информационных процессов МЧ в интересах совершенствования разрабатываемых НМФС – одного из наиболее перспективных направлений ИИ. Приведенные свойства и сформулированная общая целеполагающая модель информационных процессов МЧ не являются окончательными, а являются лишь приглашением к более глубокому и основательному изучению такого сложного и интересного объекта исследования, как МЧ. Тем не менее на основе данных материалов можно сделать несколько важных выводов: во-первых, в настоящее время детальная картина информационных процессов, происходящих в МЧ до конца неизвестна, а лишь обозначены ее контуры; во-вторых, чтобы получить НМФС, которые хотя бы в отдаленной форме приближались по своим возможностям к МЧ, тех знаний и технических решений, которыми обладают исследователи и конструкторы на сегодняшний день в данной предметной области недостаточно; в-третьих, одной из перспективных платформ конструирования НМФС являются сетевые структуры динамических нейронов и их разновидности, например адаптивные резонансные нейронные сети, которые в силу своих конструктивных особенностей способны гибко менять свою структуру на различных временных интервалах в зависимости от локальных целей и, решаемых на их основе, текущих задач.

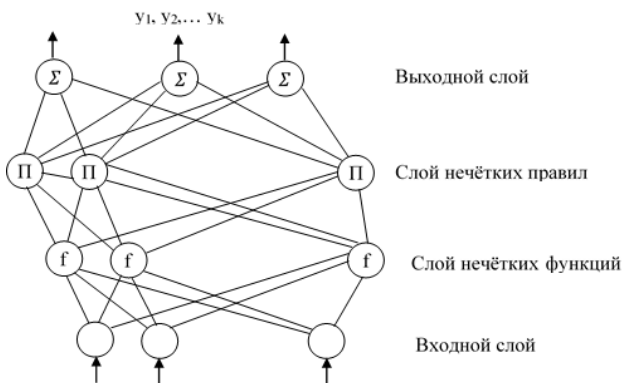


Рис. 3. Фрагмент типовой структуры рекуррентной нечеткой нейронной сети

## Список использованных источников и литературы

1. Krichmar, J.L. Neurobiologically Inspired Robotics: Enhanced Autonomy through Neuromorphic Cognition / J.L. Krichmar, J. Conradt, M. Asada // *Neural Networks*. – 2015. – 72. – Pp. 1–2.
2. Ponulak F., Kasiński A. Introduction to spiking neural networks: Information processing, learning and applications // *Acta Neurobiologiae Experimentalis*. 2011. No.71. С. 409–433.
3. Бендерская Е.Н., Никитин К.В. Возможности использования импульсных рекуррентных нейронных сетей для анализа электрокардиограмм // *Информационно-управляющие системы*. 2015. No 1. С. 85–91. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.1.85.
4. Biolková D., Biolková Z., Biolková V. Behavioral modeling of memcapacitor // *Radioengineering*. 2011, Vol. 20, P. 228–233.
5. Li C. B., Li C. D., Huang T. W., Wang, H. Synaptic memcapacitor bridge synapses // *Neurocomputing*. 2013, Vol. 122, P. 370–374.
6. Wang G., Zang X., Wang F., Yuan F., Lu H. H.–C. Memcapacitor model and its application in chaotic oscillator with memristor // *Chaos*. 2017, Vol. 27, P. 013110.
7. Бахшиев А.В. Нейроморфные системы управления на основе модели импульсного нейрона со структурной адаптацией: дис. к.т.н. – СПб., 2016.
8. Ерохин В.В. Органические мемристорные приборы и нейроморфные системы: дис. д.ф.-м.н. – М., 2018.
9. Зефирова Т.Л., Зиятдинова Н.И., Купцова А.М. Физиологические основы мышления. Учебно-методическое пособие. – Казань: КФУ, 2015. – 42 с.
10. Сидоров А.В. Основы клеточной нейробиологии. Учебное пособие. – Минск: БГУ, 2020. – 395 с.
11. Дорогина О.И. Нейрофизиология. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 100 с.
12. Воронова Н.В., Климова Н.М., Менджерицкий А.М. Анатомия центральной нервной системы. Учебное пособие. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 128 с.
13. Белоусов В.Е., Морозов В.П., Путинцева Е.В., Сырин А.И. Определение и свойства социокиберфизических систем // *Проектное управление в строительстве*. 2020. № 4 (21). С. 90–94.
14. Морозов В.П., Родионов Е.А., Сырин А.И. Конфигурирование информационных социокиберфизических систем управления инвестиционным портфелем // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2021. № 5 (63). С. 38–43.
15. Морозов В.П., Белоусов В.Е., Сырин А.И. Применение искусственных нейронных сетей для управления инвестиционным портфелем в информационных социокиберфизических системах // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2022. № 3 (67). С. 32–38.
16. Миркес Е.М. Функциональные модели универсального нейрокомпьютера: дис. д.т.н. – Красноярск, 2000.
17. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры. Учебное пособие. – СПб: ГУАП, 2013. – 284 с.

# PROPERTIES AND INFORMATION PROCESSES OF HUMAN BRAIN FOR DEVELOPMENT OF NEUROMORPHIC SYSTEMS

**Morozov V.P.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor Voronezh State Technical University

**Belousov V.E.**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, associate professor Voronezh State Technical University

**Mistrov L.E.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the All-Russian Scientific Center of the VUNC VVS «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Central Branch of «RGUP», Chief Specialist, Russian Standardization Institute

**Syrin A.I.**, Applicant, Military unit 38953-k

*This article is devoted to the analysis of the properties of the human brain and the formation of a model of representation, occurring in it, information processes. This is necessary to improve neuromorphic processors developed within one of the areas of artificial intelligence. It has been shown that neuromorphic processors are representatives of biocyberphysical systems, including bionic, cybernetic and physical subsystems. The leading role among these subsystems is played by the bionic subsystem. It contains special mathematical support (models, mechanisms, algorithms, etc.), which is the basis of the developed software of the cybernetic subsystem and physical actuators. It has been shown that in order to increase the efficiency of the neuromorphic processors being developed, it is advisable to include in the mathematical support of their bionic subsystems models for representing a number of properties of the human brain and the information processes that take place in it.*

*Among such properties stand out: the ability to think, energy efficiency; continuous interaction with the external asynchronous environment; scalability; operational solution of non-trivial cognitive problems; a variety of brain species; parallel processing of heterogeneous information. None of these properties are fully implemented in neuromorphic processors. The main reasons for this are the difficulty of realizing these properties, their lack of knowledge and the lack of an adequate model for representing information processes occurring in the human brain. A variant of such a model in a formalized form is proposed. To implement it, it is proposed to use adaptive resonance neural networks as the maximum complete basis for functional transformations.*

**Keywords:** information processes, neuromorphic system, properties of the human brain, recurrent fuzzy neural network.

## References

1. Krichmar, J.L. Neurobiologically Inspired Robotics: Enhanced Autonomy through Neuromorphic Cognition / J.L. Krichmar, J. Conradt, M. Asada // Neural Networks. – 2015. – 72. – Pp. 1–2.
2. Ponulak F., Kasiński A. Introduction to spiking neural networks: Information processing, learning and applications // Acta Neurobiologiae Experimentalis. 2011. No.71. P. 409–433.
3. Benderskaja E.N., Nikitin K.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya impul'snyh rekurrentnyh nejronnyh setej dlja analiza jelektrokardiogram // Informacionno-upravljajushhie sistemy. 2015. No 1. S. 85–91. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.1.85.
4. Biolk D., Biolk Z., Biolkova V. Behavioral modeling of memcapacitor // Radioengineering. 2011, Vol. 20, Pp. 228–233.
5. Li C. B., Li C. D., Huang T. W., Wang, H. Synaptic memcapacitor bridge synapses // Neurocomputing. 2013, Vol. 122, P. 370–374.
6. Wang G., Zang X., Wang F., Yuan F., Lu H. H.–C. Memcapacitor model and its application in chaotic oscillator with memristor // Chaos. 2017, Vol. 27, P. 013110.
7. Bahshiev A.V. Nejromorfnye sistemy upravlenija na osnove modeli impul'snogo nejrona so strukturnoj adaptaciej: dis. k.t.n. – Spb., 2016.
8. Erohin V.V. Organicheskie memristornye pribory i nejromorfnye sistemy: dis. d.f-m.n. – M., 2018.

9. Zefirov T.L., Zijatdinova N.I., Kupcova A.M. Fiziologicheskie osnovy myshlenija. Uchebno-metodicheskoe posobie. – Kazan': KFU, 2015. – 42 p.
10. Sidorov A.V. Osnovy kletочноj nevrobiologii. Uchebnoe posobie. – Minsk: BGU, 2020. – 395 p.
11. Dorogina O.I. Nejrufiziologija. Uchebnoe posobie. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2019. – 100 p.
12. Voronova N.V., Klimova N.M., Mendzherickij A.M. Anatomija central'noj nervnoj sistemy. Uchebnoe posobie. – M.: Aspekt Press, 2005. – 128 p.
13. Belousov V.E., Morozov V.P., Putinceva E.V., Syrin A.I. Opredelenie i svojstva sociokiberfizicheskikh sistem // Proektnoe upravlenie v stroitel'stve. 2020. № 4 (21). Pp. 90–94.
14. Morozov V.P., Rodionov E.A., Syrin A.I. Konfigurirovanie informacionnyh sociokiberfizicheskikh sistem upravlenija investicionnym portfelem // Informacionno–jekonomicheskie aspekty standartizacii i tehničeskogo regulirovanija. 2021. № 5 (63). Pp. 38–43.
15. Morozov V.P., Belousov V.E., Syrin A.I. Primenenie iskusstvennyh neyronnyh setej dlja upravlenija investicionnym portfelem v informacionnyh sociokiberfizicheskikh sistemah // Informacionno–jekonomicheskie aspekty standartizacii i tehničeskogo regulirovanija. 2022. № 3 (67). Pp. 32–38.
16. Mirkes E.M. Funkcional'nye modeli universal'nogo neyrokomp'jutera: dis. d.t.n. – Krasnojarsk, 2000.
17. Burakov M.V. Neyronnye seti i neyrokontrollery. Uchebnoe posobie. – SPb.: GUAP, 2013. – 284 p.