

Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования

04/2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В НАУКОЕМКОМ
МАШИНОСТРОЕНИИ

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ
СФОРМИРОВАННОСТИ
САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ
КОМАНД

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭКОНОМИКИ
ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА



iea.gostinfo.ru

ИНФОРМАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

4/2024 (79)

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 09.08.2024.
Дата опубликования на сайте журнала
iea.gostinfo.ru 09.08.2024.

Формат 60 × 90 1/8.
Усл. печ. л. 11,75.

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 кафедры 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», доктор
технических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт стандартизации»

ХАЧАТУРЯН А.А.

профессор кафедры экономических теорий и военной экономики
ФГКВОВ ВПО «Военный университет имени князя Александра Невского»
Минобороны России, доктор экономических наук, профессор

Содержание 4/2024 (79)

К 100-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОГО ИНСТИТУТА СТАНДАРТИЗАЦИИ

ВНИИС – АВАНГАРД ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И КАЧЕСТВА
Белобрагин В.Я.

4

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НАУКОЕМКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ
Будкин Ю.В., Анисимов Н.Р.

9

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
В СФЕРЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ КОМПАНИЯМИ
Куприков Н.М.

18

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ДАННЫХ. ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ ДАННЫХ
Бурый А.С., Погодин И.М.

24

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТОЧЕК ДИАГНОСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИСПРАВНОСТИ СЛОЖНЫХ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ
Мистров Л.Е., Белоцерковский О.А.

33

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ
Мистров Л.Е., Кучевский К.В., Поляков О.В.

41

3D-РЕКОНСТРУКЦИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКИМ
ВМЕШАТЕЛЬСТВОМ
Немковский Г.Б.

46

МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА В ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ НЕОНАТАЛЬНОЙ
ХИРУРГИИ. ОБЗОР
Немковский Г.Б.

55

ЭКОНОМИКА ИННОВАЦИЙ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СФОРМИРОВАННОСТИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КОМАНД
Сухов А.В., Губанова В.А., Уральсков В.А., Фотюк В.Ю.

65

ОТРАСЛЕВЫЕ АКСЕЛЕРАЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ КАК МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ БЫСТРОРАСТУЩИХ КОМПАНИЙ
И СКЕЙЛАПОВ
Преображенская А.В., Ларин А.С.

72

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА
Антонов С.А.

81

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОГРАММ КОМПЛЕКСНОЙ
СТАНДАРТИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА
Антонов С.А.

88

ВНИИС – АВАНГАРД ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И КАЧЕСТВА

Белобрагин В.Я., заместитель главного редактора журнала «Стандарты и качество»

ВВЕДЕНИЕ

Научные работы в области стандартизации и качества продукции велись в нашей стране с конца 20-х гг. прошлого века. Это, в первую очередь, труды А.К. Гастева по научной организации труда [1]. К ним можно отнести его блестящие статьи о роли стандартизации в области качества. А.К. Гастев делает вывод, что стандартизация – «наука синтетическая, берущая в свою сокровищницу знания из огромного количества научных областей, начиная от логики и кончая товароведением... расширение ее практического поля и развитие специфической методологии несомненно оплодотворяют и еще будут оплодотворять те научные дисциплины, которые, она в свою очередь, использует¹... Стандартизация есть прежде всего наука о качестве продукции».²

Получили мировую известность работы А.Н. Колмогорова, Н.Н. Бородачева, Я.Б. Шора, в которых разрабатывались статистические методы анализа и контроля качества продукции. Благодаря исследованиям академиков А.И. Берга, Б.В. Гнеденко, С.А. Христиановича и других ученых, успешно решались теоретические вопросы надежности.

Упомянутые научные разработки способствовали обеспечению высокой эффективности и надежности военной техники в годы Великой Отечественной войны.

Послевоенное развитие народного хозяйства страны осуществлялось преимущественно экстенсивными методами.

К началу 1960-х годов перед советской экономикой встала задача перехода к интенсивным методам производства на основе достижений научно-технического прогресса. Одним из решающих факторов интенсификации стало повышение качества продукции.

Историческая необходимость выдвинула лидера для решения назревших проблем. Им стал В.В. Бойцов, возглавивший Комитет стандартов в 1963 году и руководивший им по 1984 г.

Этот период времени народная мудрость назвала «бойцовская эпоха стандартизации» [2].

Первостепенной задачей, поставленной В.В. Бойцовым, было максимальное использование возможностей стандартизации и метрологии для коренного повышения качества продукции [3]. Для этого было необходимо создание мощной научно-исследовательской и производственной баз для системы стандартизации и метрологии. В этот период созданы Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации (ВНИИС), Всесоюзный научно-исследовательский институт технической информации, классификации и кодирования (ВНИИКИ), Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации общей техники (ВНИИСОТ), Всесоюзный информационный фонд стандартов и технических условий (ВИФС). Укрепился и расширился Всесоюзный институт нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ).

Один из них – ВНИИС, основанный в 1965 г., стал опорой Госстандарта СССР, а позднее – Госстандарта России, в решении важных народнохозяйственных задач. Основные научные разработки первого периода его деятельности – создание научных и организационно-методических основ Государственной системы стандартизации, а также определения возможностей стандартизации для повышения эффективности деятельности в разных отраслях экономики и общественного производства.

С самого начала своей деятельности ВНИИС заявил о себе как теоретический и научно-методический центр по стандартизации и качеству. Его возглавляли последовательно крупные ученые: Г.А. Потемкин, А.В. Дербисер, А.В. Гличев, а затем Ф.А. Амирджанянц и В.Г. Версан. Однако становление, а позднее и развитие научной школы института объективно связано с А.В. Гличевым, приглашенным во ВНИИС В.В. Бойцовым в качестве заместителя директора по науке, вставшим вскоре директором.

В 1969 г. вместе со своими коллегами М.П. Бабиным, А.В. Дербисером и В.П. Пановым Александр Владимирович опубликовал труд «О научных основах системы государственного управления качеством продукции», в котором заложено современное видение проблемы обеспечения качества продукции [4].

¹ «Вестник стандартизации». – 1934. – № 6. – С. 15.

² «Вестник стандартизации». – 1935. – № 1. – С. 5–8.

В те годы институт успешно решал такие задачи, как создание научных основ государственной системы стандартизации, разработка методологии комплексной стандартизации в отраслях, системные исследования механизма управления качеством на всех уровнях народного хозяйства. Эти три направления возглавляли соратники Александра Владимировича – Н.И. Цибизов, А.В. Степанов, М.И. Круглов.

В рамках первого научного направления, которое возглавлял Н.И. Цибизов, в короткий срок впервые в мировой практике был разработан комплекс государственных стандартов «Государственная система стандартизации» (по существу – конституция стандартизации).

Главным отделом по разработке этих документов заведовал В.П. Скрипниченко, в ней также активно участвовали В.П. Панов, А.И. Дружинин, Э.Н. Погосова.

Научная школа по стандартизации ВНИИС в тот период времени проделала громадный объем научной и научно-методической работы.

В результате к концу 1980-х гг. были разработаны методологии системного подхода к решению задач стандартизации, построения параметрических и размерных рядов, комплексной и опережающей стандартизации, обновления стандартов, а также теория унификации и агрегатирования как научная основа стандартизации, теоретические и практические основы обеспечения специалистов средствами стандартизации, основы взаимозаменяемости, технической и информационной совместимости, обеспечения единства измерений, точности и воспроизводимости результатов измерений и испытаний, и др.

В рамках этого основополагающего направления институтом предложен программно-целевой метод комплексной стандартизации, широко применявшийся отраслями при планировании выпуска высококачественной продукции. Одновременно разрабатывались проблемы эффективности стандартизации под руководством Л.Б. Сульповара. Были привлечены научные силы Института экономики Академии наук СССР во главе с будущим академиком Д.С. Львовым. Позже работу продолжил замдиректора, а затем и директор института Ф.А. Амирджанянц. Экономическими исследованиями занимались также ставшие затем крупными научными авторитетами В.Г. Ващенко, А.А. Швандер, А.В. Раков.

Впервые были выполнены теоретические работы по экономике стандартизации (Д.С. Львов, Л.Б. Сульповар), оптимизации параметров объектов стандартизации (В.В. Ткаченко, Д.М. Комаров), методам комплексной и опережающей стандартизации (В.П. Панов), основам стандартизации на предприятии (А.В. Гличёв, В.Г. Версан) [2.8–2.12].

Вторым научным направлением было ориентирование на выработку методологии управления качеством, в т.ч. идеологии государственного управления качеством продукции на всех уровнях – центральном, отраслевом, региональном, уровне предприятия (объединения).

Его возглавил пришедший в институт по приглашению А.В. Гличёва с группой ученых-системщиков М.И. Круглов, генерал-лейтенант запаса. Предтечей научной деятельности в этой области, а также фундаментом складывающейся российской научной школы управления качеством стали исследования по проблемам надежности и статистическим методам контроля. Ими руководил Я.Б. Шор, активно подключились к нормативно-техническому сопровождению данных проблем Л.Я. Шухгальтер, О.Г. Лосицкий, Г.К. Мартынов, А.А. Богатырёв. К выполнению многих научно-исследовательских тем были привлечены известные советские ученые Б.В. Гнеденко, И.А. Ушаков, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев, Н.А. Северцев, Я.М. Сорин.

Знаковым событием тех лет стал постоянно действовавший семинар по надежности в Центральной лектории политехнического музея, где институт открыл методический кабинет. ВНИИС был активным участником работы Межведомственного Совета по надежности и контролю качества во главе с академиком А.И. Бергом, а затем – С.А. Христиановичем. Научные отделы по качеству под началом М.И. Круглова в составе видных ученых И.Д. Крыжановского, Б.И. Евдокимова, Г.О. Рабиновича, а также О.Г. Лосицкого обобщили накопленный опыт действующих систем БИП (бездефектное изготовление продукции), КАНАРСПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий), НОРМ (научная организация работ по увеличению моторесурса) и совместно со Львовским филиалом ВНИИФТРИ (директор Е.Т. Удовиченко) предложили единые принципы и организационную структуру Комплексной системы управления качеством продукции (КС УКП) [5]. Ее характеризовало в первую очередь комплексность, которой не достает ряду современных систем. Считаю полезным напомнить ее основные характеристики.

Итак, основные особенности системы.

1. КС УКП органически входит составной частью в систему управления предприятием. Многие аналитики сегодняшнего дня справедливо считают, что этот принцип подзабыт при внедрении систем менеджмента качества на базе международных стандартов ИСО серии 9000.
2. КС УКП обеспечивает управление качеством на всех уровнях предприятия. Этот принцип недостаточно прописан в документах нынешних систем менеджмента качества.

3. КС УКП обеспечивает управление качеством на всех стадиях жизненного цикла продукции от исследования и разработки до утилизации.
4. КС УКП обеспечивает единство и взаимосвязь технических, экономических, организационных, социальных факторов, направленных на повышение качества продукции. Такой установки в стандартах ИСО 9000 нет.
5. КС УКП обеспечивает скоординированное воздействие на элементы производства – средства труда, предметы труда, сам труд. Этот политэкономический аспект часто забывается.
6. КС УКП реализует специальные функции управления. При осуществлении процессного подхода, согласно новым веяниям стандартов ИСО 9000, нельзя забывать об объективно существующих специальных функциях управления качеством. Рациональное сочетание процессного и функционального подходов реализуется в матричной структуре управления.
7. КС УКП базируется на стандартах предприятия, образующих ее нормативную базу. Среди других документов, регламентирующих деятельность по качеству, именно стандарты предприятия (организации) являются связывающей основой, обеспечивающей системность управления. Об этом в стандартах ИСО 9000 ни слова.
8. Структура и состав КС УКП предусматривают возможность ее дальнейшего совершенствования на основе обратной связи с потребителями и учета передового отечественного и зарубежного опыта.

Во взаимодействии со специалистами отраслей институт создал комплект методических документов по разработке и внедрению КС УКП (в работе участвовали молодые ученые И.И. Чайка, С.Я. Гутник, Е.Ф. Коптев, Н.Н. Спиваковская, В.Н. Фомин). Изданный тиражом 200 тыс. экземпляров, он во многом способствовал массовому внедрению системы. Влившись в коллектив разработчиков, заведующий сектором института В.Г. Версан предложил использовать графические информационные модели для совершенствования КС УКП.

Масштабному распространению КС УКП способствовала комплексная работа консультантов и пропагандистов системы, которые по приглашению местных органов власти и предприятий участвовали в конференциях, семинарах и консультациях на Дальнем Востоке, в Средней Азии, городах Севера и Юга России. Это Л.Д. Карпов, Б.И. Евдокимов, Л.Г. Егорова, С.Я. Гутник, Е.Ф. Коптев и многие другие. Но в первую очередь, следует отметить И.И. Чайку, в то время старшего научного сотрудника, обладавшего утонченным методическим подходом к перипетиям внедрения КС УКП и неотразимой силой убеждения в необходимо-

сти системной работы. Также ярким пропагандистом КС УКП был Ю.А. Самойленко. Значительную помощь в освоении идеологии системного подхода в управлении качеством и стандартизации оказал отдел технической информации, которым руководил М.И. Куфман.

Итог сделанного – одобрение опыта львовских предприятий высшими органами управления страны, проведение всесоюзного семинара-совещания, награждение Государственной премией группы специалистов (в основном львовлян) за создание и внедрение КС УКП, широкое распространение систем качества в промышленности. Более 30 тыс. предприятий освоили системный подход в управлении качеством. Боевой штаб этой подвижнической деятельности – ВНИИС – в 1980 г. был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Одновременно институт вел масштабную работу с отраслями и регионами. На основе упомянутого научного подхода по созданию отраслевой системы управления качеством продукции Минэлектронпрома, Минприбора, Минэлектротехпрома, получившей широкую известность. Он поддержал первую территориальную систему управления качеством, функционировавшую в Мытищинском районе Московской области. Комплексный подход применен при создании Краснодарской системы повышения Эффективности производства, Днепропетровской и Тульской систем управления эффективностью и качеством. Теоретические разработки в области систем управления, накопленный опыт внедрения КС УКП, сочетание отраслевого и территориального подходов к управлению качеством позволили ВНИИС на рубеже 1980-х гг. создать фундаментальный труд – комплекс стандартов на управление производственным объединением (предприятием). Идеи, заложенные в эти документы, намного опередили время: сейчас они высвечены во многих разделах новой версии стандартов ИСО 9000:2000, в модных системах и методах – GMP, бенчмаркинг, экологическое управление.

При участии ВНИИС были созданы методологические основы территориального управления качеством (В.Я. Белобрагин, Я.Г. Остапчук, А.И. Чупилин, М.И. Алексеенко), на базе которых разработаны республиканские системы управления качеством (Латвийская, Белорусская, Московская и Ленинградская – всего 250 региональных систем).

В рамках ВНИИС возникло новое направление науки о качестве – квалиметрия. Ее разработчики – А.В. Гличев, Г.Г. Азгальдов, З.Н. Крапивенский.

Большую работу в области оценки качества продукции провел отдел аттестации (заведующий М.Н. Суворов), который научно и нормативно сопровождал аттестацию промышленной продукции на государственный Знак качества. Само изображение этого знака родилось в стенах института.

Научно-правовой отдел во главе с И.А. Халапом участвовал в создании ряда документов по правовому обеспечению деятельности по качеству, в частности в разработке Положения об отделах технического контроля предприятия, утвержденного Правительством СССР [6]. Научное сопровождение международной деятельности обеспечивал международный отдел, где наиболее активно работал сектор ЕОКК под руководством Г.А. Сорокина.

Любая научная школа немыслима без подготовки кадров. Решению этой задачи при ВНИИС во главе с А.В. Гличёвым были созданы советы по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальности «Стандартизация и управление качеством продукции» (экономические и технические науки). В результате отечественная школа специалистов по качеству пополнилась десятками ученых. У многих из них на титульном листе диссертаций значится: «научный руководитель (научный консультант) А.В. Гличёв». Это направление деятельности продолжил В.Г. Версан, который возглавил диссертационные советы по защите кандидатских и докторских диссертаций по техническому и экономическому направлениям.

Из стен ВНИИС вышли десятки докторов и кандидатов наук по стандартизации и управлению качеством.

Динамично развивающейся организации в условиях ограничения численности работающих в Москве пришлось сформировать поначалу отдел в Риге, который возглавил М.И. Алексеев. Коллектив отдела участвовал в разработке республиканской системы качества, провел глубокие исследования по проблемам определения затрат на качество и эффективности КС УКП. В работе над последней проблемой проявил себя молодой талантливый ученый В.Е. Швец.

В 1976 г. образован Мытищинский отдел, который впервые разработал рекомендации по системам качества в сфере обслуживания и на транспорте. Хорошими организаторами научной и хозяйственной деятельности зарекомендовали себя А.И. Чупилин, А.И. Платонов, В.В. Курицына.

В 1979 г. приступил к работе Краснодарский филиал ВНИИС во главе с В.П. Мельниковым. Его задача – разработка нормативных и методических документов по стандартизации и управлению качеством в агропромышленном комплексе страны.

К числу крупных достижений ВНИИС, несомненно, можно отнести разработку сначала союзного, а затем российского закона «О защите прав потребителей».

В соответствии с этим законом в центре внимания оказалась проблема сертификации. Решением вышестоящих органов ВНИИС из института стандартизации превратился в институт сертификации. Его возглавил в 1990 г. В.Г. Версан.

Коренным образом была перепрофилирована научная тематика, над которой институт работал более двадцати лет, и перед ним были поставлены новые задачи, которые коллектив должен был решать также в новых, непривычных условиях перехода к рыночной экономике.

Таким образом, институт, стал научно-методическим центром по разработке основ сертификации и аккредитации. Сотрудники ВНИИС внесли большой вклад в разработку Закона Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг». Были также разработаны правовые основы защиты рынка на базе соблюдения баланса интересов государства, бизнеса и потребителей [7].

Ученые ВНИИС разработали основополагающие документы Системы сертификации ГОСТ Р, которые стали нормативной и правовой основой работ по сертификации в стране. А когда потребовалось предпринять шаги по ее совершенствованию, институт подготовил концепцию, направленную на дальнейшее развитие сертификации и переход к механизму подтверждения соответствия.

Сертификация на деле стала одним из средств предотвращения доступа на рынок небезопасного товара. Только с 1994 по 1996 г. не было допущено на рынок 1300 опасных изделий электротехнической и электронной промышленности и таким образом предотвращено более одного миллиона несчастных случаев.

Одновременно ученые института (В.Г. Версан, И.И. Чайка, В.И. Галеев, В.А. Аршакуни и др.) продолжали развивать деятельность по управлению качеством. Коллектив разработал необходимые документы для введения премий Правительства Российской Федерации по качеству, а также первые редакции Концепции национальной политики по качеству.

Канун XXI в. ознаменован вводом в практику новой, уже третьей версии стандартов ИСО серии 9000. Доктор экономических наук В.Г. Версан дал глубокий анализ состояния с внедрением стандартов версии 1994 г., предложил рекомендации по последовательному переходу на новую версию 2000 г. В программной статье «Силы и слабости стандартов ИСО 9000 новой версии: стратегия введения в действие» указана потенциальная опасность превращения сертификатов систем менеджмента качества (СМК) в формальный документ, необходимый только лишь для рекламных нужд, определены пути глубокого освоения принципов TQM, связь СМК с практикой самооценки и участия в конкурсе на соискание премий Правительства Российской Федерации по качеству [8].

Начало XXI в. выдвинуло перед стандартизаторами страны новую задачу – перейти на рыночную систему нормативного обеспечения экономики. В конце 2002 г. был принят, а в июле 2003 г. введен в силу Федеральный закон «О техническом регулировании». Ученые института (И.З. Аронов,

В.Л. Теркель, А.М. Рыбакова, И.И. Чайка, В.Я. Тимко и другие) во главе с директором за пять лет со времени принятия закона проделали громадную работу по методическому обеспечению реформирования всей системы технического регулирования. Только в нашем журнале по этой проблеме опубликовано свыше 50 статей сотрудников института. В них постоянно подчеркивается необходимость системного подхода к техническому регулированию, которого, к сожалению, нет на практике, тесной взаимосвязи технических регламентов и стандартов и рекомендуется, как действовать предприятиям в условиях принятия технических регламентов [9].

В этот же период специалистами института была подготовлена монография «Техническое регулирование. Теория и практика».

Заключительный этап деятельности ВНИИС в период 2012–2019 гг. был достаточно плодотворным для развития стандартизации и позволил реализовать целый ряд сформулированных в Концепции задач.

Так, 29 июня 2015 г. принят Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации», в разработке которого участвовали В.Г. Версан, И.З. Аронов, А.М. Рыба-

кова. Закон определил правовые основы стандартизации. ФЗ № 162 направлен на повышение эффективности деятельности по стандартизации в России, качества и конкурентоспособности российских товаров. Закон позволил сформировать такую модель правового регулирования, при которой «фокус одновременно наведен на соблюдение требований безопасности и на повышение конкурентоспособности отечественной продукции».

Прошло много лет с обозреваемой в статье поры. Эстафета научной школы В.В. Бойцова, А.В. Гличева, В.Г. Версана в руках объединенного из бывших научных учреждений отечественной системы стандартизации – Российского института стандартизации. В качестве одного из участников представленной читателям научной школы хочу пожелать ему следовать мудрому пожеланию В.В. Бойцова: «Прямое влияние стандартизации на экономику производства, на обеспечение высокого качества продукции будет непрерывно возрастать в масштабах, которые сегодня еще трудно представить. Все это требует дальнейшего развития и расширения теоретических, технических, экономических и даже философских исследований в этой области деятельности» [10].

Список использованных источников и литературы

1. Ефанова И.Б. Рабочий – поэт и стандарты // Стандарты и качество. – 2010. – № 1.
2. Белобрагин В.Я. 1963–1964 г.г. Бойцовская эпоха // Стандарты и качество. – 2005. – № 8.
3. Бойцов В.В. Основные принципы государственного управления качеством продукции // Стандарты и качество. – 1976. – № 9.
4. Гличёв А.В., Бабин М.В., Дербишер А.В., Панов В.П. О научных основах системы государственного управления качеством продукции // Стандарты и качество. – 1980. – № 1.
5. Гличёв А.В., Круглов М.И., Кржижановский И.Д., Лосицкий О.Г. Принципы построения системы управления качеством продукции на базе стандартизации // Стандарты и качество. – 1975. – № 9.
6. Важнейшее звено в системе контроля качества продукции // Стандарты и качество. – 1980. – № 3.
7. Версан В.Г. Пути совершенствования сертификации на современном этапе // Стандарты и качество. – 1993. – № 7.
8. Версан В.Г. Силы и слабости стандартов ИСО 9000 новой версии: стратегия введения в действие // Стандарты и качество. – 2001. – № 12.
9. Аронов И.З., Версан В.Г. Техническое регулирование – инструмент инновации // Стандарты и качество. – 2004. – № 1.
10. Бойцов В.В. Стандартизация и технический прогресс // Стандарты и качество. – 1967. – № 6.

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НАУКОЕМКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Будкин Ю.В., д-р техн. наук, профессор Российского университета транспорта (МИИТ), советник генерального директора ФГБУ «Институт стандартизации»

Анисимов Н.Р., канд. физ-мат. наук, главный специалист отдела цифровых промышленных технологий, информационной инфраструктуры и безопасности ФГБУ «Институт стандартизации»

Проведено исследование технологий искусственного интеллекта (ИИ) в наукоемком машиностроении, применяющих стандарты в области информационных технологий. Определена основная методологическая задача применения ИИ в машиностроении, направленная на подготовку специальных наборов исходных данных и непосредственно увязанная с задачей обработки данных в конкретном технологическом процессе. Обоснованы пять критериев, составляющих предметную область применения ИИ в машиностроении. На основе исследований представлены девять направлений применения ИИ в машиностроении применяемых на стадиях жизненного цикла изделия от проектирования узлов и элементов конструкции до технического обслуживания машин и оборудования. Варианты использования ИИ должны быть интегрированы с технологическими и информационными процессами предприятия. Конкретные вопросы, связанные с использованием ИИ, целесообразно учитывать при проектировании технологических процессов, информационных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, информационные технологии, стандартизация, машиностроение.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект (ИИ) все шире применяется в машиностроении, использующим информационные технологии, и ожидается, что он станет одним из основных факторов развития и внедрения наукоемких технических решений. Искусственный интеллект потенциально вызывает особые условия при использовании в машиностроении, такие как:

- использование искусственного интеллекта для автоматического принятия решений, иногда непрозрачным и необъяснимым способом, может потребовать специального управления, выходящего за рамки управления классическими ИТ-системами.
- использование анализа данных, инсайта и машинного обучения, а не логики, закодированной человеком, для проектирования систем, как расширяет возможности применения систем искусственного интеллекта, так и изменяет способ разработки, обоснования и развертывания таких систем.
- системы искусственного интеллекта, осуществляющие непрерывное обучение, изменяют свое поведение во время использования. Они требуют особого внима-

ния для обеспечения продолжения их ответственного использования при изменении поведения.

Определенные характеристики ИИ, такие как способность к постоянному обучению и совершенствованию, или отсутствие прозрачности (объяснимости), могут влиять на выбор мер безопасности, если они вызывают дополнительные опасения по сравнению с принятыми ранее способами решения технологической задачи.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – обобщить и сформировать основные направления использования ИИ в наукоемком машиностроении, создающие предпосылки для разработки комплексной стандартизации технических решений в сфере информационных технологий.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Определить особенности технологий ИИ в машиностроении.
2. Исследовать наиболее перспективные и быстро развивающиеся технологии ИИ в наукоемком машиностроении.

3. Разработать предложения по стандартизации ИИ в машиностроении.
4. В статье применяются термины и определения, соответствующие ГОСТ Р 59277–2020 «Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта».

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первым шагом, предпринятым для сбора вариантов использования, было определение областей применения систем ИИ [1–3].

Для улучшения качества вариантов использования были идентифицированы источники информации и характеристики ИИ для подготовки вариантов использования.

Варианты использования были сгруппированы и категоризированы в соответствии с выявленными областями применения [4–7]. Варианты использования обобщены и сгруппированы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установлены основные особенности применения ИИ в машиностроении:

- неполная интерпретируемость алгоритмов ИИ, состоящая в принятии решения о правильности или неправильности технологических операций на основании критериев, истинность которых подтверждена;
- высокая зависимость корректности работы системы ИИ от качества подготовки набора данных вследствие смещения характера распределения значений существенных факторов в реальных условиях эксплуатации, что приводит к некорректной работе системы;
- возможность дообучения и расширения спектра прикладных задач, решаемых системами ИИ за счет дополнительных примеров решения прикладных задач в новых условиях, не предусмотренных исходными обучающими НД;
- неопределенность социальной приемлемости процессов создания и применения технологий ИИ вследствие переноса ответственности за некорректные действия по обработке данных с человека-оператора на других субъектов права;
- необходимость сравнения характеристик качества используемых алгоритмов ИИ и функциональных возможностей человека.

Особенности технологии ИИ целесообразно учитывать в разработке систем ИИ, обеспечивающие их эффективное применение, в частности обеспечение защиты специалистов и машиностроительное предприятие от деструктивных информационных воздействий.

ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Наиболее перспективные и быстро развивающиеся технологии ИИ в машиностроении:

1. Прогнозное техническое обслуживание.
2. Проектирования узлов и элементов конструкций.
3. Контроль качества.
4. Управление жизненным циклом продукции.
5. Автономные системы.
6. Имитационное моделирование.
7. Прогнозное моделирование.
8. Роботизированное управление.
9. Оптимизация цепочки поставок.

Эти технологии уже становятся одними из прорывных средств создания изделий машиностроительного наукоемкого комплекса, формирования цифрового облика, а также оптимизации процессов производства и конфигурации изделия на всех этапах жизненного цикла.

Порядок, в котором представлены варианты применения технологий ИИ в машиностроении, не отражает их важности и не подразумевает порядок, в котором они реализуются. Пункты списка перечислены только в справочных целях.

ПРЕДИКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Предполагает использование данных от датчиков механических систем для прогнозирования того, когда потребуется техническое обслуживание или ремонт, до того, как произойдет отказ оборудования. Используя алгоритмы искусственного интеллекта для анализа данных датчиков, инженеры-механики могут предсказывать, когда оборудование может выйти из строя, и заблаговременно планировать техническое обслуживание.

Установлено три основных направлений предиктивного технического обслуживания на основе технологии ИИ:

1. Обслуживание, основанное на техническом состоянии оборудования (машины).
2. Удаленный мониторинг и диагностика оборудования (машины).
3. Прогнозируемое управление запасными частями оборудования (машины).

Методы диагностики неисправностей оборудования на основе данных включают машинное обучение, многомерный статистический анализ, анализ сигналов и методы объединения информации. Это позволяет выполнить техническое обслуживание раньше, чем выход из эксплуатации узлов и элементов конструкции оборудования.

В настоящее время разрабатывается система, использующая машинное обучение для выявления признаков неисправности оборудования, которые трудно обнаружить при визуальном осмотре. Одним из примеров заключается в сборе данных с датчиков 43 отечественных крупных турбин и проведения широкомасштабных проверочных испытаний. Цель состоит в том, чтобы перейти от парадигмы реагирования «по факту износа элементов конструкции» к техническому обслуживанию, предотвращающему проблемы остановки оборудования и обеспечения безопасности.

Хотя диагностика неисправностей отличается высокой точностью и хорошей надежностью, этот метод требует множества параметров для моделирования, а обучение модели занимает много времени.

Одним из способов решения задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Прогнозное техническое обслуживание. Общие положения»

Положения стандарта направлены на снижение к минимуму незапланированные простои и затраты на техническое обслуживание. Используя технологии искусственного интеллекта, изготовители могут оптимизировать графики технического обслуживания, продлить срок службы оборудования и повысить общую эффективность эксплуатации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Алгоритмы искусственного интеллекта применены для оптимизации узлов и элементов конструкции путем определения оптимальной комбинации материалов и (или) выбора наиболее эффективной конфигурации изделия.

Установлено три основных направления проектирования на основе технологии ИИ:

- ИИ в инженерном проектировании (computer-aided design, CAD);
- ИИ в расчетах (computer-aided calculations, CAE);
- ИИ в производственных системах (computer-aided manufacturing, CAM).

В инженерном проектировании (CAD) искусственный интеллект направлен на повышение эффективности разработки конструкторской документации, а именно – на сокращение времени, необходимого для разработки изделия и на повышение его качества. Это достигается решением следующих категорий задач:

1. Повышение эффективности интерфейса программы на основе анализа действий пользователя.

2. Автоматизация повторяющихся задач проектирования, таких как создание определенной геометрии или типов изделий.
3. Оптимизация конструкций с целью улучшения их технологичности, унификации, надежности, снижения веса и т.д.
4. Проверка и/или исправление ошибок проектирования.
5. Распознавание и перестроение элементов геометрии 3D-моделей.

В автоматизированных расчетах конечной целью искусственного интеллекта является предоставление более быстрых и точных решений в инженерном анализе. Для этого у ИИ есть две основные категории задач:

1. Оптимизация моделирования.
2. Интеллектуальный анализ результатов моделирования.

В автоматизированном производстве (CAE) ИИ применяется для достаточно широкого круга задач. Среди них: автоматизация создания программ для станков с числовым управлением, оптимизация параметров обработки, анализ производственных цепочек и операций, прогнозирование циклов производства и обслуживания и т.д.

Несмотря на разнообразие способов автоматизации производственных систем (CAM) задачи ИИ можно условно разделить на две крупные категории:

1. Планирование производственных процессов.
2. Управление производственными процессами.

Установлены проблемы применения технологий ИИ для проектирования узлов и элементов конструкций (CAD, CAE, CAM):

1. Увеличение сроков обучения, перегруженный инструментарий приводит к снижению продуктивности даже опытных пользователей.
2. Замедление скорости принятия решений конструктором вследствие погружения в «парадокс выбора», содержащего ограниченное множество технических решений.
3. Постоянное увеличение количества сред проектирования, в которых конструктор видит только ту часть огромного инструментария программы, которая ему требуется в настоящий момент.

Среди задач ИИ в проектировании (CAD) целесообразно выделить:

1. Внедрение адаптивного пользовательского интерфейса.
2. Проверка и исправление ошибок проектирования.
3. Распознавание и перестроение элементов геометрии узлов и элементов конструкции.

Среди задач ИИ в инженерном анализе (CAE) целесообразно выделить:

1. Оптимизация моделирования.
2. Анализ результатов моделирования.

Среди задач ИИ в автоматизированном производстве (CAM) целесообразно выделить:

1. Управление производственными процессами.
2. Планирование производственных процессов.
3. Генеративный дизайн как сочетание всех типов САПР.

Одним из способов решения задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Проектирования узлов и элементов конструкций. Общие положения».

Положения стандарта направлены на управление изменением конфигурации изделия при разработке конструкторской документации. Технологии искусственного интеллекта будут востребованы при проектировании наукоемких изделий машиностроения.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Искусственный интеллект может использоваться для анализа данных с датчиков на производственных линиях для выявления дефектов или отклонений от заданных допусков.

Установлено три основных направления контроля качества на основе технологии ИИ:

- идентификация качества технологической системы;
- оценка рисков инженерно – технологического проекта;
- управление ранним предупреждением о рисках качества.

Одним из способов идентификации качества технологической системы является выявление дефектов в изделиях при неразрушающем контроле.

Технологии ИИ позволяют достичь уровень обнаружения критических дефектов близкий к сертифицированным требованиям.

При решении задачи установлены проблемы, среди которых:

- недостаток данных о дефектах по типам дефектов;
- неудовлетворительное изображение дефекта для глубокого обучения из исходных данных изображения.

Алгоритмы искусственного интеллекта применяются для анализа данных о партии изделия на основе машинного обучения и выявления причин низкой производительности в технологической системе.

Область применения технологий ИИ заключается в установлении проблем производительности в технологической системе, приводящих к выпуску некачественной продукции или увеличению времени цикла обработки партии продукции. Это позволяет предоставить специалисту отдела качества информацию для повышения производительности производства с помощью машинного обучения на основе базы данных о технологических операциях.

Актуальной задачей направления технологий ИИ является выявление полезной информации на основе ограниченного набора промышленных данных, также работа с динамикой переменных технологического процесса.

Одним из способов решения задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Контроль качества. Общие положения».

Положения стандарта направлены на использование алгоритмов искусственного интеллекта и вероятностной статистики для анализа большого объема данных, собранных при идентификации риска. Технологии искусственного интеллекта будут востребованы при проектировании наукоемких изделий машиностроения. Принимая во внимание такие факторы, как отчеты о рекламациях, недостоверные данные контроля качества изделия, алгоритмы искусственного интеллекта могут оценить риск инженерно – технологического проекта, а также управлять ранним предупреждением о рисках качества.

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРОДУКЦИИ

Искусственный интеллект применяют в управлении жизненным циклом изделия (PLM), позволяя инженерам оптимизировать процессы, улучшать совместную работу и повышать эффективность принятия решений на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Установлено три основных направления в управлении жизненным циклом продукции на основе технологии ИИ:

- автоматизированное документирование;
- совместное проектирование;
- системы поддержки принятия решений.

Одна из задач управления жизненным циклом продукции наукоемкого изделия машиностроения заключается в поддержке гибких производственных ресурсов, обеспечивающих быструю реконфигурацию и адаптацию к изменяющимся ситуациям, условиям и требованиям, способствующих оптимальному использованию ресурсов в условиях неопределенности.

Данный вариант использования описывает быструю, а в некоторых случаях полностью автоматизированную пере-

стройку производственного объекта путем изменения, как производственных мощностей, так и производственных возможностей. Данный вариант использования описывает адаптивность отдельного предприятия путем (физического) преобразования и/или адаптации поведения завода и его оборудования, чтобы приспособиться к изменяющимся ситуациям, таким как сбои в работе, изменение качества материалов, выпуск новой продукции и т.д.

Необходимым условием является модульная и тем самым адаптируемая конструкция для производства. В результате, возникает потребность в интеллектуальных и взаимодействующих модулях, которые в принципе могут самостоятельно адаптироваться к измененной конфигурации, а также в стандартизированных интерфейсах между этими модулями.

Одним из способов решения задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Управление жизненным циклом продукции. Общие положения».

Положения стандарта направлены на принятие технологических решений в организации производства, выявление узких мест или неэффективности процесса или предлагать изменения в процессе, сократить время ввода изделия в эксплуатацию.

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ

Используя технологии искусственного интеллекта, инженеры могут оптимизировать потребление энергии, сократить количество отходов и разработать устойчивые решения.

Установлено три основных направления в применении технологии ИИ в автономных системах машиностроения:

1. Системы энергоменеджмента производственного объекта.
2. Интеллектуальное управление автономными системами.
3. Обеспечение прогнозной аналитики, обнаружения неисправностей и автономного принятия решений.

Системы энергоменеджмента на базе искусственного интеллекта могут анализировать данные с датчиков и счетчиков для оптимизации энергопотребления в зданиях и промышленных объектах. Учитывая такие факторы, как загруженность, погодные условия и эффективность оборудования, эти системы могут регулировать потребление энергии в режиме реального времени, чтобы минимизировать отходы и снизить затраты производственного объекта.

Искусственный интеллект может оптимизировать работу интеллектуальных сетей, анализируя данные из различных источников, таких как электростанции, возобновляемые источники энергии и потребительский спрос. Учиты-

вая такие факторы, как цены на электроэнергию, погодные условия и стабильность сети, алгоритмы искусственного интеллекта могут оптимизировать распределение электроэнергии и сбалансировать спрос и предложение в обеспечении производственных мощностей.

Искусственный интеллект может оптимизировать работу систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для повышения энергоэффективности производственных площадей.

Анализируя данные датчиков и прогнозы погоды, алгоритмы искусственного интеллекта могут корректировать настройки обеспечения производственных площадей в режиме реального времени для поддержания оптимального комфорта при минимальном потреблении энергии. Эта технология также может выявить возможности для оптимизации оборудования и дать рекомендации по мерам энергосбережения.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Искусственный интеллект трансформирует структурный анализ в машиностроении, позволяя инженерам анализировать сложные системы и оптимизировать конструкции.

Установлено три основных направления в применении технологии ИИ в имитационном моделировании:

1. Анализ методом конечных элементов.
2. Мониторинг состояния конструкций.
3. Оптимизационный выбор материалов.

Используя искусственный интеллект, инженеры могут создавать точные и эффективные модели конечных элементов, сокращая время и усилия, необходимые для анализа.

Мониторинг состояния конструкций предполагает непрерывный мониторинг конструкций для обнаружения и оценки повреждений или износа. Алгоритмы искусственного интеллекта могут анализировать данные датчиков для выявления потенциальных проблем и раннего предупреждения. Используя искусственный интеллект, инженеры могут обнаруживать структурные аномалии, которые могут быть трудно обнаружить традиционными методами.

Искусственный интеллект может оптимизировать выбор материала с учетом различных факторов, таких как физико-механические свойства, стоимость и воздействие на окружающую среду. Анализируя данные, алгоритмы искусственного интеллекта могут идентифицировать материалы, соответствующие конструкторско – технологическим требованиям.

Одна из проблем применения ИИ в машиностроении заключается в вероятности значительного расхождения между

моделью, обучающейся на облачных вычислениях, и моделью, настроенной внутри изделия. Если модель в изделии будет отменена моделью, обучающейся в облаке, то это приведет к значительному изменению параметров технологического режима

Одним из способов решения задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Имитационное моделирование. Общие положения».

Положения стандарта направлены на принятие инновационных решений и расширять границы материаловедения в машиностроении.

ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Наиболее перспективными и быстро развивающимися технологиями ИИ в настоящее время являются технологии на основе глубоких нейронных сетей, а также технологии анализа больших объемов текстовых данных на основе алгоритмов обработки естественного языка. Эти технологии уже становятся одними из прорывных средств создания бортовых систем и изделий машиностроительного комплекса, формирования их облика, а также оптимизации процессов производства и эксплуатации на всех этапах жизненного цикла.

Основные тенденции развития технологий машинного обучения:

- в области компьютерного зрения – переход лидерства от автоматического распознавания объектов к визуальным трансформерам;
- в области анализа текстов на естественном языке – создание и больших языковых и фундаментальных моделей;
- в области обучения с подкреплением – обучение с открытым списком виртуальных сред и целевых задач, а также обучение путем запросов больших языковых моделей для поиска решений;
- в области реалистичной генерации данных – переход лидерства от генеративно-сопоставительных сетей к диффузным моделям;
- в области универсальных моделей для анализа данных и управления – универсальные агенты, а также кооперативные модели, общающиеся между собой на естественном языке с целью совместного решения задач.

Важным изменением в области подходов к разработке и использованию приложений ИИ является появление новой дисциплины ИИ, названной Prompt Engineering (Промпт-инжиниринг). Промпт-инжиниринг занимается разработкой и оптимизацией запросов для эффективного использования больших языковых моделей в широком спектре приложений. Промпт-инжиниринг используется для повышения прозрачности и безопасности языковых моделей, извлечения и добавления знаний, организации

использования внешних инструментов и взаимодействия больших языковых моделей. Данный подход напоминает логическое программирование, но при этом база знаний здесь формируется автоматически в процессе обучения больших языковых моделей, а определение релевантного способа организации запросов является основным инструментом программирования – как в работе конечных пользователей, так и при создании пользовательских сервисов и приложений.

Одним из способов решения инженерных задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Прогнозное моделирование. Общие положения».

Положения стандарта направлены на развитие тенденции к «большому объединению» всех методов, подходов и задач машинного обучения, а также их объединению с технологиями ИИ на основе формализации знаний и логического вывода. Результатом такого «большого объединения» может стать создание «прозрачного» и «объяснимого» универсального ИИ для решения как задач автономного управления самыми сложными техническими объектами, так и задач интеллектуальной поддержки всего спектра производственных и технологических процессов на предприятиях машиностроительного комплекса.

РОБОТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Искусственный интеллект применяют для управления движениями и действиями роботов, в том числе при производстве или сборке. Например, система искусственного интеллекта может управлять движениями руки робота в производственном процессе или направлять робота при выполнении сборочных работ.

Установлено три основных направления искусственного интеллекта в роботизированном управлении:

1. Управление коллаборативными роботами.
2. Управление автономными роботами.
3. Роботизированная автоматизация процессов.

Коллаборативные роботы (cobot), предназначены для совместной работы с операторами на общем рабочем месте. Эти роботы оснащены алгоритмами искусственного интеллекта, которые позволяют им понимать жесты и команды человека и реагировать на них. В машиностроении роботы могут помогать операторам в таких задачах, как сборка, погрузочно-разгрузочные работы.

В машиностроении автономные роботы могут использоваться для таких задач, как погрузочно-разгрузочные работы, сварка и неразрушающий контроль. Эти роботы оснащены алгоритмами искусственного интеллекта, которые

позволяют им воспринимать окружающую среду, принимать решения и ориентироваться в сложных технологических пространствах.

В машиностроении роботизированная автоматизация процессов используется для автоматизации таких задач, как ввод данных, документация и формирование отчетов.

В машиностроении роботы на базе искусственного интеллекта могут выполнять сложные задачи с точностью и эффективностью, что приводит к повышению производительности и безопасности на производственных площадях предприятия.

Процесс роботизированной сборки часто включает в себя этапы, на которых две детали должны быть подогнаны и соединены друг с другом под действием силы. В идеальном случае идеально сформированные детали могут быть подогнаны и собраны с заданным усилием. Из-за несовершенства этапов производства, дефектов поверхности и других факторов, таких как гибкость деталей, эта процедура может стать сложной и непредсказуемой.

В таких случаях человек-оператор может быть проинструктирован с помощью простых терминов и демонстраций и легко выполнить задачу, в то время как роботизированной системе потребуются очень подробные и обширные программные инструкции для выполнения задачи, включая необходимую адаптацию к технологической среде. Необходимость в столь сложных программных инструкциях делает применение автоматизации обременительным или нерентабельным. Алгоритмы управления, основанные на машинном обучении, в частности на обучении с подкреплением, могут стать альтернативными решениями, повышающими и расширяющими уровень автоматизации производства.

Одним из способов решения инженерных задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Роботизированное управление на производстве. Общие положения».

Положения стандарта направлены на решение сложных задачи с заданной точностью и эффективностью, что приводит к повышению производительности и безопасности на производственных площадях предприятия.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК

Автоматическое распределение производственных заданий по динамическим сетям поставщиков – актуальная задача.

Сеть производственных возможностей и мощностей, выходящих за пределы заводов и промышленных объединений, позволяет быстро адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и заказа. В результате создается в значи-

тельной степени фрагментированная и динамичная сеть цепочки создания стоимости, которая изменяется в зависимости от конкретного заказа и тем самым наилучшим образом использует возможности и существующие производственные мощности.

Цель – автоматическое планирование, распределение и исполнение заказов, максимальная автоматизация всех производственных этапов и мощностей, необходимых для подключения внешних заводов к производственному процессу компании.

Одна из задач применения технологий ИИ в оптимизации цепочки поставок заключается в обеспечении массового производства по индивидуальным заказам в глобальных динамичных цепочках поставок и, соответственно, облегчение производственной нагрузки производства малых партий продукции по индивидуальным заказам.

Искусственный интеллект может использоваться для анализа данных из цепочек поставок с целью выявления узких мест или неэффективности и предложения улучшений, которые могут помочь повысить эффективность цепочки поставок. Например, система искусственного интеллекта может быть способна выявлять узкие места в потоке материалов или продукции или предлагать изменения в маршрутизации или расписании, которые могли бы помочь сократить задержки или повысить эффективность.

Установлено три основных направления искусственного интеллекта в управлении цепочками поставок:

- оптимизированное управление запасами;
- прогнозирование спроса;
- оптимизация маршрутов.

Учитывая такие факторы, как сроки выполнения заказа, изменчивость спроса и затраты на хранение, алгоритмы искусственного интеллекта могут генерировать процесс инвентаризации производства и склада, которая минимизирует затраты, обеспечивая при этом доступность продукции.

Искусственный интеллект может повысить точность прогнозирования спроса, анализируя исторические данные о продажах, тенденции рынка и другие важные факторы.

Используя искусственный интеллект, инженеры могут генерировать более точные прогнозы спроса изготовленных изделий, что позволяет лучше планировать и распределять ресурсы.

Алгоритмы искусственного интеллекта могут оптимизировать логистику, анализируя такие факторы, как транспортные расходы, графики поставок и условия дорожного движения.

Оптимизируя маршрут поставок, предприятие может увеличить эффективность, снизить затраты и повысить конкурентоспособность машиностроительного изделия.

Одним из способов решения инженерных задач заключается в разработке стандарта «Искусственный интеллект в промышленности. Оптимизация цепочки поставок. Общие положения».

Положения стандарта направлены на решение сложных задачи оптимизации в глобальных динамичных цепочках поставок.

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ТЕМ РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ИИ

Темы разработки стандартов в области ИИ представлены на заседании Координационного Совета председателей национальных и межгосударственных технических комитетов по стандартизации в области цифрового развития (КССЦР) от 25 июня 2024 года. Председателем КССЦР является д.т.н., профессор, академик Академии проблем качества Б.М.Позднеев. В состав КССЦР входят председатели 16 национальных технических комитетов. В рамках исполнения программы национальной стандартизации на 2023 год членами КССЦР разработаны первые редакции более 75 стандартов, а в рамках программы национальной стандартизации на 2024 год планируется разработка не менее 80 национальных стандартов в области цифровой промышленности. Члены КССЦР провели экспертную оценку научно-технического уровня тем разработки

стандартов в области ИИ. Члены КССЦР рекомендовали включить девять тем стандартов в области использования ИИ в наукоёмком машиностроении в перспективную программу по стандартизации на 2025–2027 годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены особенности применения технологий ИИ в машиностроении. Отмечено, что особенности технологии ИИ целесообразно учитывать в разработке СИИ, обеспечивающие их эффективное применение, в частности обеспечение защиты специалистов и машиностроительное предприятие от деструктивных информационных воздействий.

Исследованы наиболее перспективные и быстро развивающиеся направления ИИ в наукоёмком машиностроении.

Обоснована разработка девяти тем стандартов с учетом особенностей применения ИИ в машиностроении.

Проведена экспертная оценка научно-технического уровня тем разработки девяти стандартов на заседании Координационного Совета председателей национальных и межгосударственных технических комитетов по стандартизации в области цифрового развития от 25 июня 2024 года. Члены КССЦР рекомендовали включить девять тем стандартов в области использования ИИ в наукоёмком машиностроении в перспективную программу по стандартизации на 2025–2027 годы.

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, № 5 (69), 2022, с 27–34.
2. Будкин Ю.В. // Обеспечение информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоёмкой техники межотраслевыми комплексами стандартов. Часть 1. Единая система стандартов автоматизированных систем управления.
3. Бойцов Б.В., Рахманов М.Л., Савельев А.Г., Будкин Ю.В. т др. // Сертификация систем менеджмента качества, учебное пособие, 2023 год, 120 с.
4. GLOBAL QUALITY INFRASTRUCTURE INDEX REPORT 2020. ISSN 2748-4866, <https://gqii.org>
5. OECD Regulatory Enforcement and Inspections Toolkit (Инструментарий ОЭСР по оценке практик государственного регулирования и контроля) <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264303959-en.pdf?expires=1534406713&id=id&accname=oid008831&checksum=FF93382E4E209E3659E69E6D44FFA0A8>
6. The Importance of Monitoring for the Effectiveness of Environmental Directives A Comparison of Monitoring Obligations in European Environmental Directives. May 2014, Utrecht Law Review 10(2):126-135 DOI:10.18352/ulr.273
7. The OECD/DAC Criteria for International Development Evaluations: An Assessment and Ideas for Improvement January 2008, Journal of MultiDisciplinary Evaluation 5(9), DOI:10.56645/jmde.v5i9.167 .License CC BY-NC 4.0

ARTIFICIAL INTELLIGENCE USAGE DIRECTIONS IN HIGH-TECH ENGINEERING

Budkin Yu.V., Doctor of Technical Sciences, Advisor to the Director General of the Russian Standardization Institute, Professor of the Russian University of Transport (MIIT)

Anisimov N.R., Ph.D. in Physics and Mathematics, Chief Specialist of the Department of Digital Industrial Technologies, Information Infrastructure and Security of the Russian Standardization Institute

A study of artificial intelligence (AI) technologies in high-tech mechanical engineering that use information technology standards was conducted. The main methodological task of using AI in mechanical engineering is defined, aimed at preparing special sets of initial data and directly linked to the task of data processing in a specific technological process. Five criteria are substantiated that make up the subject area of AI application in mechanical engineering. Based on the research, nine areas of AI application in mechanical engineering are presented, applied at the stages of the product life cycle from the design of units and structural elements to the maintenance of machines and equipment. AI use cases should be integrated with the enterprise's technological and information processes. Specific issues related to the use of AI should be taken into account when designing technological processes and information systems.

Keywords: artificial intelligence, information technology, standardization, mechanical engineering.

References

1. Budkin Yu.V., Sokolov Yu.A., Frolov V.A. // Algorithms of artificial intelligence in natural and artificial radiation sources. Part 2. Radiation from highly concentrated heating sources, Information and economic aspects of standardization and technical regulation, no. 5 (69), 2022, pp. 27–34.
2. Budkin Yu.V. // Providing information systems and processes for the development and implementation of high-tech technology with inter-industry sets of standards. Part 1. Unified system of standards for automated control systems.
3. Boytsov B.V., Rakhmanov M.L., Savelyev A.G., Budkin Yu.V. etc. // Certification of quality management systems, study guide, 2023, 120 p.
4. GLOBAL QUALITY INFRASTRUCTURE INDEX REPORT 2020. ISSN 2748-4866, [hyyps://gqii.org](https://gqii.org)
5. OECD Regulatory Enforcement and Inspections Toolkit <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264303959-en.pdf?expires=1534406713&id=id&accname=oid008831&checksum=FF93382E4E209E3659E69E6D44FFA0A8>
6. The Importance of Monitoring for the Effectiveness of Environmental Directives A Comparison of Monitoring Obligations in European Environmental Directives. May 2014, Utrecht Law Review 10(2):126-135 DOI:10.18352/ulr.273 7. The OECD/DAC Criteria for International Development Evaluations: An Assessment and Ideas for Improvement January 2008, Journal of MultiDisciplinary Evaluation 5(9), DOI:10.56645/jmde.v5i9.167. License CC BY-NC 4.0

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В СФЕРЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ КОМПАНИЯМИ

Куприков Н.М., канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник Института 9 Московского авиационного института (НИУ), главный специалист Российского института стандартизации

При проектировании летательных аппаратов (ЛА) все расчеты проводятся для условий Международной стандартной атмосферы (МСА), что позволяет сравнить результаты расчетов и летных испытаний нескольких ЛА, проводимых в различных климатических поясах, путем пересчета результатов испытаний на параметры международной стандартной атмосферы, «поместив» все ЛА в одинаковые условия – условия МСА.

Исторически материалы для разработки международных стандартов в сфере МСА были разработаны в СССР и легли в основу международных стандартов ISO, которые в свою очередь стали основой документов ICAO 7488/3 Международной организации по гражданской авиации (ICAO) и в последствии стали государственными документами по стандартизации идентичным международным стандартам ISO.

На сегодняшний день данными, представленными в соответствующих стандартах, пользуются в большом количестве отраслей, связанных с проектированием и разработкой ЛА. Тем не менее оригинальные стандарты практически не применяются: специалисты заменяют их соответствующей учебной литературой, что приводит к отсутствию единого подхода к использованию данных МСА.

Ключевые слова: самолет, МСА, атмосфера, стандартная, единство измерений, технологии, метеорология, опрос, отрасль.

Цитирование: Куприков Н.М. Актуальные вопросы использования, распространения и обновления документов по стандартизации в сфере международной стандартной атмосферы высокотехнологичными компаниями // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 18–23.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и эксплуатации летательных аппаратов необходимо учитывать и анализировать метеорологическую обстановку. И решая обратную задачу формировать облик самолетов из условия их эксплуатации с учетом естественной и искусственной среды эксплуатации, с чем и помогает модель Стандартной атмосферы, представленная в соответствующих международных стандартах ISO 2533:1975 «Standard Atmosphere» (с дополнениями) и ISO 9662:1994 «Aircraft equipment – Environmental and operating conditions for airborne equipment – Humidity, temperature and pressure tests».

На сегодняшний день нет представления о том насколько часто используются данные стандарты в различных отраслях, связанных с проектированием и разработкой ЛА. Отсутствие информации о частоте применения стандартов может привести к отсутствию единого подхода к использованию данных МСА и потере актуальности представленных данных в силу незаинтересованности специалистов из различных областей в их применении.

Целью исследования является изучение практики использования, распространения и обновления документов по стандартизации в сфере Международной стандартной атмосферы среди высокотехнологичных компаний.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В Российской Федерации на национальном уровне действуют ГОСТ 24631–81 «Атмосферы справочные. Параметры», ГОСТ 26352–84 «Модель влажности воздуха в северном полушарии», ГОСТ 4401–81 «Атмосфера стандартная. Параметры», ГОСТ Р 54084–2010 «Модели атмосферы в пограничном слое на высотах от 0 до 3000 м для аэрокосмической практики. Параметры» и ГОСТ Р 53460–2009 «Глобальная справочная атмосфера для высот от 0 до 120 км для аэрокосмической практики. Параметры». Данные стандартной атмосферы используются при проектировании, производстве, испытаниях и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники, вооружения и т.д.

Запрос в ФГБУ «Институт стандартизации» в июле 2024 года показал, что за период с 2019 по 2024 годы из всего перечня национальных стандартов в сфере стандартной атмосферы были проданы отраслевым организациям всего 6 раз.

ГОСТ Р 54084–2010 лишь единожды приобретен в интересах применения ООО «Специальный Технологический Центр». ГОСТ 4401–81 был приобретен 5 раз АО «Московский научно-исследовательский институт «Агат»», ООО «НПП РОБИС», ООО «Инженерный Центр Программы Сиар929», ООО «Производственно-монтажное предприятие «ПРОТОН», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет».

Коллектив авторов полагает, что данные о реализации стандартов через ФГБУ «Институт стандартизации» не отражают реальную картину использования стандартов в сфере МСА в Российской Федерации.

В ходе исследования был проведен опрос представителей различных отраслей об использовании стандартов в сфере Международной стандартной атмосферы для выполнения плана ТК 484 по актуализации данных и иных мероприятий, способных повысить спрос на применение оригинальных стандартов.

В результате проведенного исследования о востребованности стандартов, путем опроса организаций авиационной и ракетно-космической отрасли, авиатранспортных предприятий, организаций оборонно-промышленного комплекса и иных организаций, имеющих отношение к авиационной технике, было выявлено 24 организации, из которых 11 организаций, использующую стандарты в области стандартной атмосферы и данные из них. Помимо этого, был также проведен опрос о готовности различных предприятий участвовать в актуализации перечисленных стандартов.

В опросе были указаны следующие стандарты:

- ГОСТ 24631–81 Атмосферы справочные. Параметры;
- ГОСТ 26352–84 Модель влажности воздуха в северном полушарии;
- ГОСТ 4401–81 Атмосфера стандартная. Параметры;
- ГОСТ Р 54084–2010 Модели атмосферы в пограничном слое на высотах от 0 до 3000 м для аэрокосмической практики. Параметры;
- ГОСТ Р 53460–2009 Глобальная справочная атмосфера для высот от 0 до 120 км для аэрокосмической практики. Параметры;
- ОСТ 1 00133–84 Модель атмосферы для оценки летной годности ЛА;
- ОСТ 1 00276–88 Модель атмосферы северного полушария для статистической оценки характеристик ЛА и бортового оборудования;
- ICAO 7488/3–1993 Manual of the ICAO Standard Atmosphere.

Результаты опроса показывают, что из всех опрошенных организаций авиационной и ракетно-космической отрасли все используют стандарты в сфере стандартной атмосферы в соответствии с профилем деятельности и номенклатурой выпускаемой продукции. Однако, из-за возраста фонда стандартов и машинопечатного формата они воспринимаются, как «устаревшее наследие».

К отраслям, в которых наиболее часто находят применение перечисленным стандартам относятся отрасли разработки авиационной техники и двигателестроения, а также сертификационные центры и научные организации.

Наиболее востребованными оказались следующие стандарты:

- ГОСТ 24631–81 Атмосферы справочные. Параметры;
- ГОСТ 26352–84 Модель влажности воздуха в северном полушарии;
- ГОСТ 4401–81 Атмосфера стандартная. Параметры;
- ГОСТ Р 54084–2010 Модели атмосферы в пограничном слое на высотах от 0 до 3000 м для аэрокосмической практики. Параметры.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что в как минимум в 11 организациях применяются стандарты в сфере стандартной атмосферы, но нет официально приобретенных копий. Вместе с тем из всех опрошенных организаций лишь 6 заинтересованы в участии в актуализации представленных стандартов.

Исторически в практике деятельности организаций авиационной и ракетно-космической отрасли (например ЦАГИ) использовались технические сборники типа [7] в которых были приведены выдержки их стандартов ISO и ГОСТ для удобства использования инженерами-конструкторами.



Применение стандартов в сфере стандартной атмосферы

В справочнике [7] даны определения и обозначения основных геометрических и аэродинамических характеристик самолетов и некоторых типов ракет с учетом ГОСТ 22833–77 «Характеристики самолета геометрические», ГОСТ 20058–80 «Динамика летательных аппаратов в атмосфере» и новой системы символов механики полета, разработанной Международной организацией по стандартизации (ИСО). Дано сопоставление определений и обозначений, принятых в СССР, с применяемыми в Англии, Франции, ФРГ и по ИСО. Приведены также общие сведения о новых понятиях аэродинамики самолета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как результат инженерной практики на предприятиях имеет место самостоятельное переоформление стандартов в сфере стандартной атмосферы, что приводит к невозможности обеспечения единства измерений ввиду неумения пользования программными продуктами (Excel), несоблюдения погрешности ввиду отсутствия методики численной обработки данных в сфере стандартной атмосферы и др.

Таким образом, необходимо предпринять меры по актуализации стандартов в сфере МСА и приведению их к формату, позволяющему более эффективно использовать их для проектирования ЛА.

Выводы:

1. Рассмотренные в исследовании стандарты в области МСА к настоящему моменту не пользуются достаточным спросом, что ведет к пониженному интересу к их актуализации.
2. В большей части предприятий из различных рассмотренных областей, имеющих отношение к проектированию ЛА, специалисты предпочитают пользоваться сборниками и иной научной литературой, включающей в себя данные МСА, вместо рассмотренных государственных и международных стандартов.
3. Необходимо предпринять меры по актуализации стандартов в сфере МСА и приведению их к формату, позволяющему более эффективно использовать их для проектирования ЛА.

Список использованных источников и литературы

1. Клягин В.А. Стандартизация в авиастроении: учеб. пос. / В.А. Клягин, М.Ю. Куприков, Н.М. Куприков. – Орел: Изд-во «Картуш», 2023. – 104 с. – ISBN 978-5-9708-1075-0.
2. Будкин Ю.В. Проектирование перспективной авиационной техники: стандартизация и подтверждение соответствия: уч. пос. для подготовки бакалавров и специалистов по направлениям 24.03.04 «Авиастроение», «24.05.07 «Самолето- и вертолетостроение», 27.03.01 «Стандартизация и метрология. Стандартизация и сертификация», 27.03.02 «Управление качеством продукции, процессов и услуг» / Ю.В. Будкин, Н.М. Куприков. – Орел: ООО полиграфическая фирма «Картуш», 2024. – 136 с. – ISBN 978-5-9708-1153-5.
3. Kuprikov, M. Yu. Modification as a method of aircraft design / M. Yu. Kuprikov, N. Kuprikov // Journal of Physics: Conference Series : III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022), Krasnoyarsk, 03–05 марта 2022 года. Vol. 2373. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 72031. – DOI 10.1088/1742-6596/2373/7/072031.
4. Куприков Н.М. Проблемы методологии информационно-технологического сопровождения технического обслуживания и ремонта / Н.М. Куприков, М.Ю. Куприков, Ю.В. Будкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 7. – С. 296–302. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-7-296-303.
5. Куприков Н.М. Международная Стандартная атмосфера - инструмент технологического суверенитета измерений в аэрокосмической отрасли / Н.М. Куприков, М.Ю. Куприков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 702-713. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-702-703.
6. Kuprikov M.Y. Moment-Inertial Factor as a Criterion for Assessing the Dimension of an Aircraft / M.Y. Kuprikov, P.O. Polyakov, N.M. Kuprikov // Journal of Applied and Computational Mechanics. – 2022. – Vol. 8, No. 4. – P. 1307–1314. – DOI 10.22055/jacm.2022.39741.3455.
7. Микеладзе В.Г., Титов В.М. Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и крылатых ракет. – М.: «Машиностроение», 4974. 152 с.

TOPICAL ISSUES OF THE USE, DISSEMINATION AND UPDATING OF STANDARDIZATION DOCUMENTS IN THE FIELD OF INTERNATIONAL STANDARD ATMOSPHERE BY HIGH-TECH DIGS

Kuprikov N.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at Institute 9 of the Moscow Aviation Institute (NRU), Chief Specialist of the Russian Standardization Institute

When designing an aircraft, all calculations are carried out for the conditions of the International Standard Atmosphere (ISA), which allows you to compare the results of calculations and flight tests of several aircraft conducted in different climatic zones by recalculating the test results for the parameters of the international standard atmosphere, “placing” all aircraft in the same conditions – ISA conditions.

Historically, materials for the development of international standards in the field of ISAs were developed in the USSR and formed the basis of international ISO standards, which in turn became the basis of ICAO documents 7488/3 of the International Civil Aviation Organization (ICAO) and subsequently became state documents on standardization identical to international ISO standards.

To date, the data presented in the relevant standards are used in a large number of industries related to aircraft design and development. Nevertheless, the original standards are practically not applied: specialists replace them with appropriate educational literature, which leads to the lack of a unified approach to the use of ISA data.

Keywords: airplane, MSA, atmosphere, standard, unity of measurements, technology, meteorology, survey, industry.

For citation: Kuprikov N.M. Topical issues of the use, dissemination and updating of standardization documents in the field of international standard atmosphere by high-tech digs. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 18–23. (In Russ.).

References

1. Klyagin V.A. Standardization in aircraft engineering: A textbook / V.A. Klyagin, M.Yu. Kuprikov, N.M. Kuprikov. – Orel: Kartush Publishing House, 2023. – 104 p. – ISBN 978-5-9708-1075-0.
2. Budkin Yu.V. Design of advanced aviation equipment: standardization and conformity assessment: A textbook for training bachelors and specialists in the areas of 24.03.04 «Aircraft engineering», 24.05.07 «Aircraft and helicopter engineering», 27.03.01 «Standardization and metrology. Standardization and certification», 03/27/02 «Quality management of products, processes and services» / Y.V. Budkin, N.M. Kuprikov. – Eagle: Limited Liability Company printing company «Cartouche», 2024. – 136 p. – ISBN 978-5-9708-1153-5.
3. Kuprikov M.Yu. Modification as a method of aircraft design / M.Yu. Kuprikov, N. Kuprikov // Journal of Physics: Conference Series: III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022), Krasnodar, 03-05 March 2022. Vol. 2373. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 72031. – DOI 10.1088/1742-6596/2373/7/072031.
4. Kuprikov N.M. Problems of methodology of information technology support for maintenance and repair / N.M. Kuprikov, M.Yu. Kuprikov, Yu.V. Budkin // Izvestiya Tula State University. Technical sciences. – 2022. – No. 7. – Pp. 296–302. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-7-296-303.
5. Kuprikov, N. M. International Standard atmosphere - an instrument of technological sovereignty of measurements in the aerospace industry / N.M. Kuprikov, M.Yu. Kuprikov // Izvestiya Tula State University. Technical sciences. – 2023. – No. 7. – Pp. 702–713. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-702-703.
6. Kuprikov M.Y. Moment-Inertial Factor as a Criterion for Assessing the Dimension of an Aircraft / M.Y. Kuprikov, P.O. Polyakov, N.M. Kuprikov // Journal of Applied and Computational Mechanics. – 2022. – Vol. 8, No. 4. – P. 1307–1314. – DOI 10.22055/jacm.2022.39741.3455.
7. Mikeladze V.G., Titov V.M. Basic geometric and aerodynamic characteristics of aircraft and cruise missiles. – Moscow: Mechanical Engineering, 4974. – 152 p.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ДАННЫХ.

Часть 2. Модели данных

Бурый А.С., д-р техн. наук, Российский институт стандартизации

Погодин И.М., аспирант, Российский институт стандартизации

Концепция больших данных стала общеизвестной из-за широкого распространения информационно-коммуникационных технологий, сетевых технологий, облачных сервисов и ряда других. Продолжая исследования, начатые в части 1, уточнены виды моделей данных и их роль в анализе больших данных (BD).

Целью исследования второй части работы является анализ и применимость моделей данных в практических приложениях для моделирования процессов поддержки принятия решений и обоснованного выбора структуры данных для задач их комплексирования и интеллектуального анализа. Для задачи интеллектуального анализа BD на основе многоагентного подхода выявлены основные элементы, система отношений при формировании этапов переработки данных с целью обнаружения новых знаний.

Ключевые слова: большие данные, модель данных, показатели качества данных, интеллектуальный анализ данных, интеграция данных.

Цитирование: Бурый А.С., Погодин И.М. Оценка качества больших данных. Часть 2. Модели данных // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 24–32.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

БД – база данных

ИАД – интеллектуальный анализ данных

МД – модель данных

ПрО – предметная область

BD – большие данные (Big Data)

ВВЕДЕНИЕ

В первой части данной работы представлены основные источники генерации больших данных (BD), показаны этапы трансформации данных в информацию, а затем возможное извлечение знаний для поддержки и принятия решений, координации взаимодействия на организационном, функциональном и технологическом уровнях управления предприятием и составления обоснованно успешных прогнозов в зависимости от предметной области (ПрО) исследования [1].

Для формирования представления ПрО (объекты, отношения между ними) и выполнения операций в терминах таких представлений служат разнообразные реализованные в программных средах инструменты, например, компиляция, тестирование, моделирование. В рамках концепции моделирования основным функционалом выступают модели данных (МД), которые являются определяющими при разработке баз данных (БД). Не случайно в свое время

создатель реляционной модели данных Э. Кодд стал лауреатом престижной Тьюринговской премии по информатике¹. В современном понимании МД – это не результат, а основной механизм моделирования, т.е. совокупность правил структурирования данных, допустимых операций над ними и видов ограничений целостности [2].

К основным источникам BD в современной городской среде [3] можно отнести цифровую среду производственного сектора «умной» экономики [4] для аналитической поддержки применения процедур искусственного интеллекта, робототехнических устройств, приборов киберфизических систем и ряда других, а также социальную сферу. В рамках государственных информационных систем [5], за счет общедоступных панелей мониторинга, многочисленных информационных сервисов, пользователи могут выбирать интересующие их услуги, ориентироваться и участвовать в жизни города, непосредственно влиять, например, с позиции «активного гражданина», на улучшение городской среды [6].

Основная целевая задача любых данных заключается в возможности извлекать из них информацию, на основании, например, методов статистической обработки данных и моделирования [7], а также обнаруживать неявные, нео-

¹Codd E.F. Relational database: A practical foundation for productivity // In ACM Turing award lectures. 2007, pp. 109–117.

чевидные закономерности в данных на основе методов интеллектуального анализа данных (ИАД), которые учитывать при принятии решений [8]. В последние годы, с интеллектуальным развитием промышленных предприятий, анализ ВД становится основной движущей силой для предприятий, обеспечивая промышленную ценность, переводя промышленное производство в интеллектуальное русло. Производственные исследования, поддерживаемые данными, перешли к моделям, основанным на данных [9], а точнее – на ВД. Уровень значимости больших данных для цифровой эпохи сегодня сравнивают с ролью нефти для общества, значимость которой становится все более весомой в результате ее полной переработки².

Целью исследования второй части работы является анализ и применимость моделей данных в практических приложениях для моделирования процессов поддержки принятия решений и обоснованного выбора структуры аппаратно-программных средств в составе автоматизированных информационных комплексов.

МОДЕЛЬ ДАННЫХ В ФОРМАТЕ ДЕФИНИЦИЙ

Начнем описание понятия «модели данных» с его определения или дефиниции.

Дефиниция³ – это уникальное логическое и языковое явление, в котором язык (как способ описания явления) и мышление (логика построения самого описания) взаимодействуют, совершенствуя друг друга [10]. Дефиницию можно назвать своеобразным «информационным каналом», связывающим имеющиеся знания с вновь полученными, что помогает специалистам различных Про понии-

² Сайт PromoPuit.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://promopult.ru/subscribe.html?id=217> (дата обращения 13.06.2024).

³ Дефиниция (от лат. definitio) – определение, точное указание, раскрывающее содержание (смысл) понятия или концепции.

мать друг друга, обеспечивая доступность когнитивной деятельности человека.

Структура МД представляет собой разметку содержимого информационной модели, характерной для конкретного типа репозитория (хранилища), протокола обмена, платформы и т.д. (в соответствии с технологиями представления, организации, хранения и управления данными⁴). Иными словами, это некоторая «абстрактная машина доступа к данным, с которой взаимодействуют» потребители информации [11] и которая необходима для создания баз данных. Чаще всего это иерархический список объектов и описание связей между ними. Включение ресурсов в группы, групп в задачи, а задач – в задания называется установлением связей между объектами, составляющими суть понятия «моделей данных», представленных в табл. 1. Основной смысл большинства определений – в представлении данных в виде структуры, для которой важны связи, обеспечивающие логику применения данных, например, при формировании таблиц «температур» окружающей среды. Когда, например, данные «температура» интегрируются с данными «шкалы» – записями единиц измерения (по Цельсию, Фаренгейту, Кельвину), то есть с метаданными, возникает эффект семантической интеграции данных, что удобно для пользователей базы данных, но создает сложности при организации хранения данных.

Таким образом, МД должна характеризоваться:

- структурой данных (таблицы, списки, деревья);
- совокупностью возможных операций с данными (поиск, обновление, сбор и т.д.);
- набором правил (отношений) для выстраивания соединений между данными.

⁴ ГОСТ Р 56174–2014. Информационные технологии. Архитектура служб открытой грид-среды. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. (п. 3.1.42).

Таблица 1

Дефиниции понятия «модель данных»

№ п/п	МОДЕЛЬ ДАННЫХ (МД) – ЭТО...	ИСТОЧНИКИ
1	Абстрактное, самодостаточное, логическое определение объектов, операторов и прочих элементов, в совокупности составляющих абстрактную машину доступа к данным, с которой взаимодействует пользователь. Эти объекты позволяют моделировать структуру данных, а операторы – поведение данных	Дейт К. Дж. [11]
2	Совокупность правил порождения структур данных в базе данных, операций над ними, а также ограничений целостности, определяющих допустимые связи и значения данных, последовательность их изменения	ГОСТ 20886–85; (п. 58, с. 5)
3	Набор конструктивов, обеспечивающих определение, структуру и формат данных; этот набор может быть физическим или абстрактным, в зависимости от выбора регистрирующей среды	ГОСТ Р 55345–2012/ ISO/TS 18876-2:2003; (п. 3.1.6)

Продолжение табл. 1

№ п/п	МОДЕЛЬ ДАННЫХ (МД) – ЭТО...	ИСТОЧНИКИ
4	Схема данных, структурированная в базе данных в соответствии с формальными описаниями в информационной системе и требованиями используемой системы управления базой данных	ГОСТ Р ИСО/МЭК 20546–2021; (п. 3.1.5)
5	МД – разметка содержимого информационной модели по форме, смоделированной для конкретного типа репозитория, протокола, платформы и т. д., и представленная информационной моделью в соответствии со спецификацией набора механизмов для представления, организации, хранения и управления данными	ГОСТ Р 56174–2014; (п. 3.1.42)
6	МД – графическое и/или лексическое представление данных, устанавливающее их свойства, структуры и взаимосвязи	ГОСТ Р ИСО/МЭК 19778-1–2011; (п. 3.1.7)
7	Концептуальная модель данных – МД, которая представляет абстрактную точку зрения на реальный мир	ГОСТ Р ИСО/МЭК 19778-1–2011; (п. 3.2.5)

С другой стороны, МД можно назвать агрегатом данных, характеризуемым векторной или иерархической структурой [12].

К наиболее распространенным моделям данных можно отнести следующие модели [11, 12]:

- иерархические модели данных (ИМД), для которых характерна древовидная наглядная структура, объединяющая объекты различных уровней;
- реляционные модели данных (РМД), представляющие собой логический тип моделей;
- объектно-реляционные модели данных (ОРМД), построенные на основе принципов объектно-ориентированного программирования;

- сетевые модели данных (СМД);
- многомерные модели данных (ММД).

Сравнительный анализ перечисленных моделей данных представим в виде табл. 2.

Наиболее существенными параметрами БД являются следующие:

- быстродействие;
- особенности обновления данных; независимость данных;
- возможность работы в многопользовательском режиме выдачи данных; безопасность данных и БД в целом;
- стандартизация построения и эксплуатации БД;

Таблица 2

Сравнительный анализ моделей данных

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	ИМД	РМД	СМД	ММД
Объем требуемой памяти	Минимальный	Большой	Средний	Небольшой
Скорость выполнения операций соединения	Средняя	Низкая	Высокая	Высокая
Простота организации	Да	Да	Нет	Нет
Универсальность	Доступ через концевой объект	Да	Да	Да
Независимость данных	Да	Да	Да	Да
Принципы доступа к данным	Только навигация	Логический	Только навигация	Только навигация
Теоретическое обоснование методов, отношений	Нет	Да	Да	Да
Особенности структуры	Простая	Гибкая	Сложная	Сложная
Особенности программирования	Не сложное	Сложная	Не сложное	Не сложное
Число элементов	Достаточное	Избыточное	Достаточное	Достаточное

- адекватность отображения данных, соответствующих заданной предметной области.

Основные элементы модели данных представлены на рис. 1.

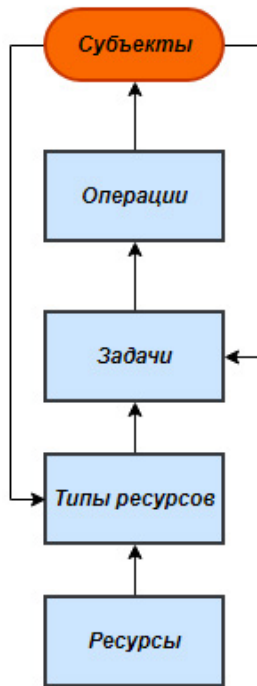


Рис. 1. Модель руководства организацией (командой)

Модель данных состоит из двух частей, одна часть относится к замкнутой программной среде, другая – к контролю целостности. Пользователи (субъекты) формируют задания, состоящие из подзадач (процессов, операций), выбирают ресурсы в своей ПрО (вычислительные, вспомогательные и др.). Модель может быть задействована и фрагментарно в зависимости от решаемой задачи [13].

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Аналитика больших данных постоянно расширяется по мере развития методов машинного обучения, интеграции с облачными технологиями, активным внедрением инструментов цифровых двойников, повышением требований к безопасным технологиям и другим тенденциям в области искусственного интеллекта⁵.

Популярность больших данных обычно рассматривается как дополнение к процессам управления в различных отраслях. Анализ больших данных может улучшить операционные и стратегические возможности предприятия, такие как бизнес-анализ, управление цепочками поставок и промышленные процессы, улучшить принятие решений на различных этапах производства [14].

Качество данных можно определить с точки зрения их свойств, называемых показателями качества данных. Шкалы метрик качества данных в большинстве случаев лежат в интервале или в соответствующих процентных значениях. Многие из показателей качества данных, рассмотренные в части 1 настоящей работы [1], остаются действительными и для БД. Однако, с появлением больших данных, были поставлены под сомнение некоторые понятия качества данных, такие как применимость существующих показателей, эффективность инструментов оценки и точность измерений. Таким образом, приведем примеры формализации показателей качества в контексте БД (см. табл. 3), и покажем, какие характеристики больших данных влияют на эти показатели. В [1] приведены 12 показателей качества применительно к БД, основываясь на [15]. Это полнота, своевременность, изменчивость, уникальность, согласованность, соответствие (валидность), простота манипулирования, релевантность, читабельность, безопасность, доступность и целостность.

Под безопасностью данных будем понимать степень ограничения доступа (защиту от несанкционированного доступа⁶) к данным. В связи с ростом масштабных нарушений конфиденциальности и атак на систему безопасности обеспечение конфиденциальности и безопасности данных стало одним из приоритетных направлений в обеспечении качества БД. Здесь мы приведем лишь один из возможных подходов к оценке безопасности.

Для этого в [15] предлагается методом опроса присвоить «веса» составляющим признакам безопасности для конкретной, например, БД. При этом вклад каждого признака будем считать равноценным (одинаковым).

Вопросы анкеты для оценки уровня безопасности данных следующие:

1. Существует ли политика безопасности, ограничивающая использование данных?
2. Используются ли протоколы безопасности для передачи данных?
3. Существуют ли меры по обнаружению угроз?
4. Зашифрованы ли данные надлежащим образом?
5. Имеется ли документация по безопасности, сопровождающая данные?

Выражение для безопасности данных примет вид

$$\text{Безопасность (\%)} = \sum_{i=1}^5 b_i c_i, \quad (1)$$

где b_i – весовые множители, для случая равнозначности признаков все $b_i = 20\%$ $i = \overline{1,5}$; c_i – оценки выбранных пяти признаков по шкале от 0 до 1.

⁵ Комлев М. 7 трендов в аналитике больших данных // Tadviser [сайт]. – URL: <https://www.tadviser.ru> (дата обращения: 13.06.2024).

⁶ См. ГОСТ 33707–2016 Информационные технологии. Словарь. – М.: Стандартинформ, 2016. (Введ.09-01-2017). (п. 4.90).

Таблица 3

Основные показатели (меры) качества больших данных

№ п/п	СОДЕРЖАНИЕ / ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИЗНАКА	ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ДАННЫХ
1	Степень, в которой данные достаточно полны и содержат необходимую информацию	$\text{Полнота (\%)} = \frac{\text{Количество непустых значений}}{\text{Общее число значений}} \times 100$
2	Уникальность данных можно определить как соотношение неповторяющихся значений, т.к. дублированные записи искажают аналитические результаты.	$\text{Уникальность (\%)} = \frac{\text{Количество уникальных строк}}{\text{Всего строк}} \times 100$
3	Данные, представленные в одной и той же структуре и соответствующие схемам и стандартам данных	$\text{Согласованность (\%)} = \frac{\text{Количество значений с согласованными типами}}{\text{Общие значения}} \times 100$
4	Степень соответствия данных правилам и ограничениям своей среды (шаблонам полей с определенным синтаксисом)	$\text{Своевременность (\%)} = \frac{\text{Текущая дата} - \text{Дата последнего изменения}}{\text{Текущая дата} - \text{Дата создания}} \times 100$
5	Может быть определена как задержка между текущей датой и датой последнего изменения данных	$\text{Своевременность (\%)} = \frac{\text{Текущая дата} - \text{Дата последнего изменения}}{\text{Текущая дата} - \text{Дата создания}} \times 100$
6	Как долго данные могут храниться и считаться достоверными, т.е. это задержка между датами хранения и изменения данных	$\text{Изменчивость (\%)} = \frac{\text{Дата создания} - \text{Дата изменения}}{\text{Текущая дата} - \text{Дата создания}} \times 100$
7	Читабельность – способность обрабатывать и извлекать информацию, содержащуюся в данных, включая аудио и видео форматы	$\text{Читабельность (\%)} = \frac{\text{Количество обработанных значений без ошибок}}{\text{Общие значения}} \times 100$
8	Простота манипулирования (ПрМ) – степень использования с минимальными усилиями, включая время на подготовку (очистку, интеграцию данных, сокращение)	$\text{ПрМ (\%)} = \frac{\text{Количество различий между исходной и очищенной таблицей}}{\text{Общие данные}} \times 100$
9	Данные с большим количеством обращений считаются наиболее релевантными	$\text{Релевантность (\%)} = \frac{\text{Количество доступов к полю данных}}{\text{Полный доступ к таблице данных}} \times 100$
10	Безопасность данных, как степень надлежащего ограничения доступа к данным	$\text{Безопасность (\%)} = \sum_{i=1}^5 b_i c_i$
11	Данные доступны и их легко получить	$\text{Доступность (\%)} = \frac{\text{Количество доступных значений}}{\text{Общие значения}} \times 100$
12	Целостность данных означает точность и достоверность данных на протяжении их жизненного цикла	$\text{Целостность (\%)} = \frac{\text{Количество различий между исходными и обработанными данными}}{\text{Общие значения}} \times 100$

Целостность данных означает точность и достоверность данных на протяжении их жизненного цикла. В среде BD данные перед использованием проходят последовательные этапы преобразований (переработки). Поэтому важно гарантировать, что значения данных не были изменены и что достоверность данных при этом сохраняется. Измерение

целостности состоит из сравнения значений данных до и после обработки данных (см. табл. 3). Таким образом, мы определяем целостность данных как отношение различий между исходными и обработанными значениями данных к общим значениям.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Основной рабочий механизм концептуальной основы интеллектуального анализа может моделировать, классифицировать и агрегировать данные, обнаруживать корреляцию между данными [14], что позволяет использовать эти результаты в подсистемах поддержки принятия решений [8] при управлении сложными технологическими процессами, включая технологии предиктивного управления, основанного на управлении данными в сочетании с методами анализа данных.

Механизм анализа больших данных в сложной организационно-технической производственной структуре включает следующие этапы [1, 14], представленные на рис. 2:

- сбор операционной системой разнородных (в общем случае) данных;
- хранение и пополнение данных в БД;
- очистка данных;
- интеграция данных;
- анализ данных;
- выявление практически полезных знаний средствами Data Mining;
- визуализация результатов анализа.

Для исследования системы ИАД (здесь и далее будем подразумевать под данными именно большие данные) воспользуемся концепцией многоагентного представления технологий объектно-ориентированного программирования [3, 4]. В данном подходе выполнение задач на каждом из этапов поручается некоторому агенту (программе), обеспечивающему одновременно и коммуникативные функции взаимодействия между агентами и внешней средой. Любой из агентов обладает свойствами автономности, реактивности, целеполагания, коммуникативности, обучаемости.

Для представленных на рис. 2 этапов функционирования системы ИАД введем обозначения для соответствующих агентов:

- $A_{сд}$ агент сбора данных, работа которого состоит в формировании первичного набора данных на основании предварительного экспертного оценивания потоков данных (источников данных), необходимых для выполнения целевых задач;
- $A_{бд}$ агент базы данных осуществляет распределение и консолидацию данных в БД для удобства дальнейшего анализа;
- $A_{од}$ агент очистки данных, обеспечивающий предварительную обработку данных (выявление и устранение пропусков данных (сглаживание)), исключение дубликатов, сжатие (применительно к медленно меняющимся процессам) и др.;

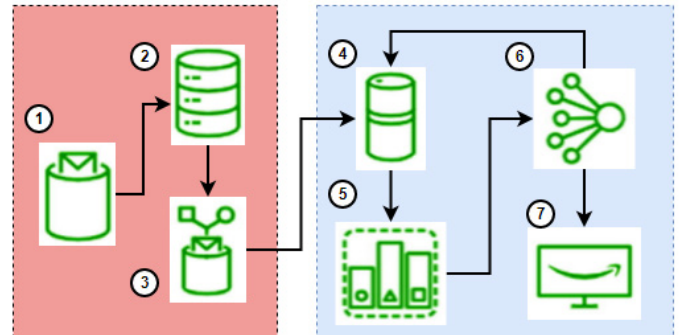


Рис. 2. Структура системы интеллектуального анализа больших данных

- $A_{ид}$ агент интеграции данных, задача которого – обеспечить совместимость между различными технологиями, возможность слияния данных применительно, как для одной и той же сущности реального мира (ПрО), но полученных из разных источников данных [16], так и для других задач (по запросам);
- $A_{ад}$ агент анализа данных Анализ больших данных может динамически воспринимать и отслеживать процесс производства продукции, прогнозировать рыночный спрос и обеспечивать реконструкцию и оптимизацию производственного процесса (применительно к системам ИАД в производственном секторе);
- $A_{дм}$ агент ИАД (средствами Data Mining), в основе которых методы обнаружения знаний в составе задач классификации, кластеризации, ассоциации, методов регрессионного анализа и ряда других;
- $A_{вд}$ агент визуализации данных, предназначенный для наглядного представления результатов анализа в заданном формате для авторской презентации и поддержки полученных выводов.

Представим процессы взаимодействия агентов в системе ИАД в виде многоагентной системы (MAS) [4]:

$$MAS = (A, R, St_{ORG}), \quad (2)$$

где $A = \{A_i\}$ – множество разнотипных агентов, $i = \overline{1, N}$, а N – общее число типов агентов, основные из которых получили буквенные индексы для понимания сущности выполняемых ими задач; $St_{ORG} = \{st_j\}$, $j = \overline{1, S}$, – множество организационно-информационных структур, причем любая структура соответствует текущей выполняемой аналитической задаче, характеризуемой выбранным набором данных (или набором интегрируемых данных), методом анализа и другими характеристиками;

R – семейство базовых отношений между агентами:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \quad (3)$$

где $R_1 = \{1 \rightarrow 2; 2 \rightarrow 3; \dots; 6 \rightarrow 7\}$ – множество последовательных (типовых) переходов между этапами; $R_2 = \{6 \rightarrow 4; \dots; 7 \rightarrow 4\}$ –

множество функциональных и управляющих запросов для оптимизации текущего решения; R_3 – множество отношений между агентом координатором из общего состава типов агентов N и любой группы агентов: а) подмножества агентов {1; 2; 3}, осуществляющих формирование и обработку данных; б) подмножества агентов {3; 4; ...; 7}, отвечающих за этапы ИАД.

Процессы взаимодействия агентов из множества представим кортежем:

$$Int = \langle A, T, Pr \rangle, \quad (4)$$

где T – множество типов агентов, т.е. $T = \{A_{CD}, A_{BD}, A_{OD}, A_{ID}, A_{AD}, A_{DM}, A_{VD}\}$ – агенты – исполнители задач, указанные выше; Pr – сценарии или программы взаимодействия между агентами, причем

$$Pr = (Com, \pi),$$

где Com – множество коммуникативных действий между агентами ($CD \rightarrow DB$; $DB \rightarrow OD$; и др.); π – протоколы типовых действий (запись данных, копирование данных, передача данных, сжатие данных и т. д.), свойственных уровню взаимодействия (отношений) из (3).

Особенностью представления MAS в виде (2) – (4) является то, выстраиваемая структура отношений и соответствующих коммуникаций каждый раз определяется особенностями решаемой задачи и степенью достижения цели.

Данный подход позволяет расширять функционал модели, за счет ввода новых типов агентов, например, в ходе реализации новых методов оценивания данных, а также расширения объема привлекаемых ВД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрен класс моделей данных для оценки качества больших данных в практических приложениях для задач поддержки принятия решений при формировании баз данных и организации комплексирования данных.

Использование агентного моделирования позволяет на концептуальном уровне проанализировать возможности синергетического эффекта больших данных по выявлению дополнительных знаний для повышения эффективности поддержки управляющих факторов в ходе принятия решений в сложных организационно-технических системах.

Дальнейшими направлениями исследований, на наш взгляд, являются:

- оценка информационно-коммуникационного аспекта данных, как способа передачи информации, и роль качества данных в этом процессе;
- анализ больших данных как продукции при использовании (техничко-социальный аспект), когда следует применять не только рассмотренные показатели качества данных, но и вводить новые, отражающие специфику ряда технических задач (функциональные особенности – готовности, эффективности, полезности, устойчивости данных).

Заметим, что большинство показателей качества данных построены для идеальной среды, надежность и безопасность данных рассматривается лишь на входе в БД (в виде систем паролей, уровней конфиденциальности и др.). «За кадром» остаются структурные особенности данных и их влияние, например, на безопасность и защиту информации, и безопасность информационных технологий в целом.

Списки использованных источников и литературы

1. Бурый А.С., Погодин И.М. Оценка качества больших данных. Часть 1. Основные понятия и метрики // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 3 (78). С. 49–58.
2. Коголовский М.Р. Перспективные технологии информационных систем. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 288 с.
3. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26.
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. Бурый А.С., Слепынцева Л.И. Цифровизация контента документов по стандартизации. Часть 1. Состояние и современные тенденции // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 1 (59). С. 105–113.
6. Китчин Р. Управляемый данными сетевой урбанизм // Шаги / Steps. 2017. Т. 3, № 2. С. 98–116.
7. 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.

8. Особенности применения принципов интеллектуального анализа данных в корпоративных информационных системах / А.И. Бачурин, А.В. Мельников, А.А. Распопов, Д.Т. Шкубулиани // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). С. 39–44.
9. Питкевич П.И. Разработка структуры WEB-системы обработки больших данных // Universum: технические науки. 2021. № 12–1 (93). С. 75–78.
10. Гришечкина Г.Ю. Виды дефиниций терминов в научно-популярном тексте // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2010. № 1 (35). С. 120–127.
11. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. – 1328 с.
12. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий. – М.: «Горячая линия-Телеком», 2019. – 160 с.
13. Гохович В.А., Воробьев Э.А., Бурмакин А.О. Структура модели данных: изолированная программная среда и механизм контроля целостности // Синергия Наук. 2019. № 38. С. 190–197.
14. Li C., Chen Y., Shang Y. A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2022. Vol. 29. P. 101021.
15. Elouataoui W., El Alaoui I., El Mendili S., Gahi Y. An advanced big data quality framework based on weighted metrics // Big Data and Cognitive Computing. 2022. № 6 (4). С. 153.
16. Вовченко А.Е., Калиниченко Л.А., Ковалев Д.Ю. Методы разрешения сущностей и слияния данных в ETL-процессе и их реализация в среде Hadoop // Информатика и ее применения. 2014. Т. 8, № 4. С. 94–109.

ASSESSMENT THE QUALITY OF BIG DATA.

Part 2. Data models

Buryi A.S., Doctor of Sciences in Technology, Russian Standardization Institute

Pogodin I.M., graduate student of the Russian Standardization Institute

The concept of Big Data has become well-known due to the widespread use of information and communication technologies, network technologies, cloud services and a number of others. Continuing the research started in Part 1, the types of data models and their role in Big Data analysis are clarified.

The purpose of the study of the second part of the work is the analysis and applicability of data models in practical applications for modeling decision support processes and an informed choice of data structure for the tasks of their integration and intelligent analysis. For the task of intellectual analysis of Big Data based on a multi-agent approach, the main elements, a system of relations in the formation of stages of data processing in order to discover new knowledge, are identified.

Keywords: Big Data, data model, Big Data quality indicators, Data Mining, data integration.

For citation: Buryi A.S., Pogodin I.M. Assessment the Quality of Big Data. Part 2. Data Models. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 24–32. (In Russ.).

References

1. Buryi A.S., Pogodin I.M. Ocenka kachestva bol'shikh dannyh. Part 1. Osnovnye ponyatiya i metriki. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2024, no. 3 (78), pp. 49–58. (In Russ.).
2. Kogalovskij M.R. Perspektivnye tekhnologii informacionnyh sistem. Moscow: DMK Press Publ., 2018. 288 p. (In Russ.).
3. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye struktury umnogo goroda na osnove kiberfizicheskikh sistem. Pravovaya informatika. 2022, no. 4, pp. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26> (In Russ.).

4. Aronov I.Z., Buryi A.S., Rybakova A.M. Umnaya ekonomika zamknutogo cikla: osnova cifrovyyh strategiy proizvodstvennykh kompaniy. CHast' 2. Cirkulyarnyye biznes-modeli. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2022, no. 5 (69), pp. 17–26. (In Russ.).
5. Buryi A.S., Slepyn'tseva L.I. Cifrovizatsiya kontenta dokumentov po standartizatsii. Part 1. Sostoyaniye i sovremennyye tendentsii. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2021, no. 1 (59), pp. 105–113. (In Russ.).
6. Kitchin R. Upravlyaemyj dannymi setevoy urbanizm. Shagi / Steps. 2017, vol. 3, no. 2, pp. 98–116.
7. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Surrogatnoye modelirovaniye raspredelennykh informatsionnykh sistem po bol'shim dannym. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2019, no. 5(51), pp. 43–50. (In Russ.).
8. Bachurin A.I., Mel'nikov A.V., Raspopov A.A., Shkubuliani D.T. Osobennosti primeneniya principov intellektual'nogo analiza dannykh v korporativnykh informatsionnykh sistemakh. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2021, no. 4 (62), pp. 39–44. (In Russ.).
9. Pitkevich P.I. Razrabotka struktury WEB-sistemy obrabotki bol'shih dannykh. Universum: tekhnicheskie nauki, 2021, no. 12–1 (93), pp. 75–78. (In Russ.).
10. Grishechkina G.Y. Vidy definitsiy terminov v nauchno-populyarnom tekste. Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnyye i social'nyye nauki, 2010, no. 1 (35), pp. 120–127. (In Russ.).
11. Date C.J. Vvedeniye v sistemy baz dannykh – Introduction to Database Systems. Moscow: OOO «I.D. Vil'yams» Publ., 2016. 1328 p. (In Russ.).
12. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury ocenki kachestva programmnykh izdelij. Moscow: «Goryachaya liniya-Telekom», 2019. 160 p. (In Russ.).
13. Gohovich V.A., Vorob'ev E.A., Burmakina A.O. Struktura modeli dannykh: izolirovannaya programmnyaya sreda i mekhanizm kontrolya celostnosti. Sinergiya Nauk, 2019, no. 38, pp. 190–197. (In Russ.).
14. Li C., Chen Y., Shang Y. A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2022, vol. 29. Art. 101021.
15. Elouataoui W., El Alaoui I., El Mendili S., Gahi Y. An advanced big data quality framework based on weighted metrics. Big Data and Cognitive Computing. 2022, no. 6 (4). Art. 153. <https://doi.org/10.3390/bdcc6040153>
16. Vovchenko A.E., Kalinichenko L.A., Kovalev D.Y. Metody razresheniya sushchnostej i sliya-niya dannykh v ETL-protsesse i ih realizatsiya v srede Hadoop. Informatika i ee primeneniya, 2014, vol. 8, no. 4, pp. 94–109.

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТОЧЕК ДИАГНОСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИСПРАВНОСТИ СЛОЖНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Мистров Л.Е., д-р техн. наук, проф., проф., проф. кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Центральный филиал «Российский государственный университет правосудия», гл. спец. ФГБУ «Институт стандартизации»

Белоцерковский О.А., преподаватель кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Основу построения информационно-обучающих систем (ИОС) для подготовки специалистов по диагностике сложных радиоэлектронных объектов (РЭО) и поиску неисправностей (ПН) составляют методы локализации элементарных, групповых и кратных (зависимых) неисправностей. Вследствие того, что встроенные точки контроля не позволяют на практике применить методы статистического анализа и прогнозирования технического состояний РЭО, возникает задача обоснования дополнительных точек контроля путем решения двух групп типовых оптимизационных подзадач. Первая группа связана с распределением выделенного ресурса средств ПН по маршрутам диагностического контроля наиболее важных элементов РЭО, а вторая группа – оптимального распределения количества средств ПН по элементам контроля заданных участков диапазона условий применения функциональных частей (подсистем) РЭО. Трудности решения данных задач оптимизации состоят в следующем: а) применение ИОС обеспечивает одновременное решение поиска групповых и кратных неисправностей с учетом результатов эффективности встроенных точек контроля; б) количество средств групповых и кратных неисправностей ограничивается эффективностью средств поиска элементарных неисправностей.

Решение данной задачи оптимального распределения ресурса ИОС по наиболее важным элементам РЭО осуществляется на основе методов ветвей и границ, максимального элемента и процедур поиска оптимальных решений. При этом в основу показателя эффективности распределения ресурса средств ПН в ИОС положено приращение средней вероятности решения задач ПН, основанной на отношении количества информации, которую необходимо получить о состоянии РЭО к количеству информации, которая получена в результате диагностического контроля. Это позволило на основе распределения дополнительных точек контроля осуществить оптимизировать их количество для локализации неисправностей с точностью до выделенной структурной единицы РЭО.

Ключевые слова: радиоэлектронный объект, типы неисправностей, информационно-обучающая система, техническая диагностика, дополнительные точки контроля, программно-аппаратные средства поиска неисправностей, оптимизация средств.

Цитирование: Мистров Л.Е., Белоцерковский О.А. Метод обоснования дополнительных точек диагностического анализа исправности сложных радиоэлектронных объектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4(79). С. 33–40.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях аппаратура, объединенная по целевому назначению различного типа в сложные радиоэлектронные объекты (РЭО), обладает высокими технологическими возможностями по выполнению тех или иных функциональных задач. Однако, сложность их конструктивного исполнения, ограниченная надежность элемент-

ной базы, а также отдельных устройств и блоков в условиях воздействия различного рода внешних факторов, приводят к ее элементарным, групповым и кратным неисправностям или отказам [1, 2], имеющим детерминированную и вероятностную природу. При этом с увеличением сложности РЭО значительно возрастают и расходы на поддержание их в работоспособном состоянии на основе ликвидации тех или иных последствий неисправности. Поэтому, чем

раньше будет обнаружена причина неисправности и чем выше достоверность ее установления, тем эффективнее являются мероприятия по предупреждению и поддержанию РЭО в работоспособном состоянии.

Основу средств диагностики работоспособности РЭО составляют программно-аппаратные средства контроля, располагаемые в специально оборудованных для этого местах, обеспечивающие высокую степень достоверности определения причин его неисправностей и их последующее устранение. Требования же по поддержанию РЭО в готовности к применению обуславливают возникновение противоречия между требованиями быстрого установления причин и устранения неисправности и невозможностью осуществить это в пунктах эксплуатации РЭО в кратчайшие сроки, которое, как показано [3], возможно разрешить с использованием современных методов и средств технической диагностики. Это обуславливает возникновение противоречия между требованиями быстрого установления причин и устранения неисправности и невозможностью осуществить это в пунктах непосредственной эксплуатации РЭО в кратчайшие сроки, которое возможно разрешить в современных условиях только на основе разработки информационно-обучающих систем (ИОС) для формирования у специалистов профессиональных умений и навыков решения задач поиска неисправностей и прогнозирования технического состояния РЭО с использованием современных методов диагностики и информационных технологий [1–3].

Наиболее общим показателем эффективности процесса поиска неисправностей в РЭА сложных РЭО является показатель, характеризующий степень соответствия принимаемых решений специалистами – лицами, принимающими решение (ЛПР) об исправности / неисправности РЭО исходя из диагностического анализа (контроля) его состояний. Анализ особенностей эксплуатации РЭО различного назначения с учетом существующей практики поиска и устранения неисправностей показывает, что в настоящее время задача обеспечения работоспособности РЭО решается на основе применения: а) технических средств диагностики в виде аппаратных средств встроенного диагностического контроля, а также специально встроенных программно-аппаратных точек диагностики, функции которых состоят в выдаче оповещений специалистам о наличии неисправности в наиболее важных элементах; б) так как не все элементы оснащены встроенными точками диагностики, специалистами на некоторых из них, исходя из практики применения РЭО, устанавливаются дополнительные программные точки контроля, функциями которых является выдача информации о неисправностях на данных элементах; в) традиционно большую часть неисправностей специалисты определяют с использованием контрольно-измерительной аппаратуры общего назначения, реализуя «внешнюю» функцию поиска неисправностей в РЭО. При этом, исходя из анализа функций

средств диагностики, для поиска неисправностей в РЭО на встроенные программно-аппаратные средства диагностики целесообразно возложить функциональных задач поиска элементарных неисправностей в РЭО, дополнительные программные средства – групповых неисправностей, а на специалиста (ЛПР) – осуществление поиска кратных неисправностей на основе комплексного использования всех программно-аппаратных средств и других средств диагностики [1–3]. Исходя из этого, данный показатель количественно может определяться через энтропию – меру неопределенности состояний исправности РЭО, которая позволяет определить степень соответствия принимаемых решений ЛПР по установлению тех или иных неисправностей.

Решение задачи по оптимальному поиску неисправностей в РЭО основывается на применении разнообразных технических методов и средств диагностики РЭА наиболее важных их элементов. С этой целью они оснащаются программно-аппаратными средствами контроля работоспособности на основе специально встроенных точек диагностики, решающих задачи по обнаружению, как правило, элементарных неисправностей. При сложных неисправностях (кратных, групповых и неисправностей ЭВМ и связанных с ними элементов) [1–3] становится затруднительным определение работоспособности отдельно взятых подсистем и элементов РЭО. Кроме того, встроенные точки диагностического контроля исправности РЭО не отвечают в полной мере требованиям практики и не обеспечивают диагностирование зависимых (кратных) неисправностей, что обуславливает задачу обоснования дополнительных точек контроля. Исходя из анализа функций средств диагностики для поиска и устранения неисправностей в РЭО на встроенные программно-аппаратные средства диагностики целесообразно возложить функциональных задач поиска элементарных неисправностей в РЭО, дополнительные программные средства – групповых неисправностей, а на человека-оператора – осуществление поиска кратных неисправностей на основе комплексного использования всех программно-аппаратных средств диагностики [1]. Эти обстоятельства обуславливают необходимость решения задачи обоснования точек дополнительного контроля при использовании ИОС на основе оптимизации распределения внутренних функций диагностики между встроенными программно-аппаратными, дополнительными программными и «внешними» средствами диагностики, определяя тем самым целевую направленность и содержание предлагаемой статьи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В общем случае применение ИОС основывается на решении двух групп типовых оптимизационных задач. Первая группа связана с распределением выделенного ресурса (заданного количества) средств поиска неисправностей (ПН) по маршрутам функционального диагностического

контроля элементарных, групповых и кратных неисправностей в наиболее важных разнотипных элементах РЭО. Вторая группа задач определяет оптимальное распределение внутреннего ресурса – количества средств ПН по элементам контроля заданных участков диапазона условий применения (ДУП) функциональных частей (подсистем) РЭО.

Основные методологические трудности решения данных задач оптимизации, обусловленные особенностями применения ИОС, состоят в следующем:

- применение ИОС обеспечивает одновременное решение задач поиска групповых и кратных неисправностей с учетом результатов эффективности встроенных средств диагностического контроля элементарных неисправностей в наиболее важных элементах РЭО;
- количество средств поиска групповых и кратных неисправностей в структуре РЭО ограничивается эффективностью средств поиска элементарных неисправностей.

С учетом этих обстоятельств, задача распределения ресурса ИОС по наиболее важным элементам РЭО может быть сформулирована следующим образом.

Задано:

I – множество задач ПН в структуре РЭО, подлежащих решению ИОС;

n_i – множество (вектор) средств ПН для выполнения i -ой задачи;

V_{jk}^i – множество k -го, $k = \overline{1, K}$ типа средств ПН в j -ом, $j = \overline{1, J}$ участке ДУП, используемых для решения i -ых, $i = \overline{1, I}$ задач ПН в наиболее важных элементах РЭО;

R_j – множество (вектор) средств ПН в j -ом, $j = \overline{1, J}$ участке ДУП функциональных частей РЭО в составе ИОС;

\mathcal{E}_j – множество (вектор) маршрутов диагностического контроля, одновременно реализуемых ИОС в j -ом, $j = \overline{1, J}$ участке ДУП РЭО.

Вектор \mathcal{E}_j характеризует возможности ИОС одновременно проконтролировать несколько наиболее важных разнотипных элементов РЭО, отличающихся маршрутами диагностического контроля и попадающих по ДУП в несколько ее маршрутов. В связи с этим необходимо учитывать распределение ресурса средств ПН, как по маршрутам диагностического контроля, так и по средствам ПН в каждом маршруте. Поэтому, для формирования постановки задачи вводится понятие нормативного значения требуемого внутреннего ресурса ИОС для ПН в k -ом, $k = \overline{1, K}$ типе наиболее важных элементов РЭО в j -ом участке ДУП

для решения i -ой задачи – вектор маршрутов диагностического контроля $\{\mathcal{E}_{jk}^i\}$, $\sum_{i \in I} \mathcal{E}_{jk}^i = \mathcal{E}_j R_j$, $j = \overline{1, J}$.

В этих условиях возникает двухуровневая оптимизационная дискретная задача назначения нормативных значений внутреннего ресурса ИОС по «I» задачам и распределение его в каждом маршруте диагностического контроля по «K» типам наиболее важных элементов РЭО – объектов диагностического контроля.

Введем необходимые переменные:

x_{jk}^i – булева переменная, равная $x_{jk}^i = 1$, если для ПН в k -го типа i -го наиболее важной составной части (компоненты) РЭО в j -ом участке ДУП назначается заданное нормативное значение средств ПН, и $x_{jk}^i = 0$, если не назначается;

y_j^i – булева переменная, равная $y_j^i = 1$, если средства ПН назначаются для решения задачи ПН в наиболее важных элементах i -ой составной части (компоненты) РЭО в j -ом участке ДУП, $y_j^i = 0$, если нет.

Так как цель применения ИОС состоит в достижении максимального значения (заданном уровне) результативности ПН, то в качестве критерия обоснованности способов ее применения целесообразным является использование максимального значения среднего количества выполненных задач ПН в иерархической структуре РЭО.

В этих условиях постановка задачи обоснования способов применения ИОС при заданных n_i , V_{jk}^i , R_j и \mathcal{E}_j состоит в обеспечении получения максимального количества выполненных задач ПН в наиболее важных разнотипных элементах РЭО.

Тогда целевую функцию можно записать в виде:

$$\{y^{opt}, x^{opt}\} = Arg \max_{\{y_j^i\}, \{x_{jk}^i\}} \sum_{i=1}^I \gamma_i P_i^{nh}(\{y_j^i\}, \{x_{jk}^i\}), \quad (1)$$

$$\gamma_i = n_i / \sum_{i \in I} n_i; \quad \sum_{i \in I} \gamma_i = 1,$$

при ограничениях

$$\sum_{k \in K} \mathcal{E}_{jk}^{oi} V_{jk}^i x_{jk}^i = \mathcal{E}_j^i; \quad \sum_{i \in I} \mathcal{E}_j^i y_j^i \leq \mathcal{E}_i K_j; \quad (2)$$

$$i \in I; \quad j \in J; \quad k \in K_j^i,$$

где $P_j^{nh}(\dots)$ – средняя вероятность ПН в наиболее важных элементах РЭО как функции $\{y_j^i\}$ плана назначения средств ПН (из n_i) в j -ом участке ДУП и $\{x_{jk}^i\}$ распределения ресурса средств ПН по k -го типа элементам;

\mathcal{E}_j^i – количество средств ПН, назначаемых ИОС для поиска неисправностей в наиболее важных k -го типа элементах РЭО в j -ом участке ДУП;

K_j^i – количество i -ых наиболее важных элементов РЭО в j -ом участке ДУП.

Задача (1), (2) является задачей дискретной оптимизации, для решения которой целесообразно использовать метод ветвей и границ [4] и процедуры поиска оптимальных решений, аналогичные алгоритмам [5]. При этом на первом (верхнем) уровне формируется алгоритм определения оптимального распределения средств поиска неисправностей ИОС в j -ом участке ДУП для обеспечения решения каждой i -ой задачи при произвольно заданном назначении средств ПН в любых других участках ДУП. При решении каждой такой задачи определяется распределение средств ПН по заданному количеству разнотипных наиболее важных элементов – объектов ПН в j -ом участке ДУП.

Поскольку назначение равного количества средств ПН для решения i -ой задачи не является равноэффективным, в связи с различным функциональным предназначением элементов РЭО – объектов ПН, эффективностью применяемых встроенных точек диагностического контроля, а также различной «важностью» элементов РЭО (назначением различного количеством средств ПН – n_i), то решение задачи (1), (2) не является тривиальным.

Учитывая физическую трактовку задачи общий алгоритм ее решения можно определить следующим образом.

В качестве граничных оценок рассматривается совокупность целевых функций последовательного решения частных оптимизационных задач ПН для каждого j -го участка ДУП

$$\{y_j^{opt}\} = Arg \max_{\{y_j^i\}} \sum_{i=1}^I \gamma_i y_j^i P_j^{ii} (\{y_l^i\}, \{x_{jv}^i\}, \{M_j^i\}), \quad (3)$$

при ограничениях

$$\sum_{i \in I} \mathcal{E}_j^i y_l^i \leq \mathcal{E}_j R_j; \quad \mathcal{E}_j^i = \sum_{v \in V} \mathcal{E}_{jv}^{oi} x_{jv}^i; \quad (4)$$

$$y_l^i, x_{jv}^i = 0 \vee 1; \quad \{y_l^i\} - \text{ задан для всех } j \neq l; \quad l \in J,$$

где $P_j^{im}(\dots)$ – средняя по составу средств ПН (n_i) вероятность решения i -ой задачи ПН с учетом назначения ИОС средств ПН в j -ом участке ДУП при заданных назначении встроенных точек диагностического контроля в других (l -ых, $l \neq j$) участках ДУП и распределении средств ПН по объектам контроля $\{x_{jv}^i\}$ в j -ом участке ДУП ($\{M_j^i\}$)

на R_j маршрутах диагностического контроля для решения каждой i -ой задачи;

$\{x_{jv}^i\}$ – план назначения i -ых средств ПН в каждом маршруте диагностического контроля по v -ым, $v = \overline{1, V}$ по наиболее важным элементам РЭО в j -ом участке ДУП.

Значение вероятности $P_j^{im}(\dots)$ определяется в виде

$$P_j^{im}(\{y_l^i\}, \{x_{jv}^i\}, \{M_j^i\}) = P_j^{im} + y_j^i \Delta P_j^{im}(\{y_l^i\}, \{x_{jv}^i\}, \{M_j^i\}), \quad (5)$$

где $\Delta P_j^{im}(\dots)$ – приращение средней вероятности решения i -ой задачи ПН в элементах РЭО в j -ом участке диапазона при фиксированном (заданным произвольно) его назначении в других (l -ых, $l \neq j$) участках ДУП и распределении в i -ой задаче $\{x_{jv}^i\}$ средств ПН по v_j^i -ым наиболее важным элементам РЭО для каждого диапазона условий и от распределения количества встроенных средств диагностического контроля (M_j^i).

Применение r_{ij} ИОС будет целесообразным только в том случае, когда приращение эффективности от ее применения превосходит значение $\sum_{j=1}^J r_{ij} / n_i$, т.е.

$$\Delta P_j^{im}(\|r_{ij}\|_J, \{V_{jk}^i\}) > \sum_{j=1}^J r_{ij} / n_i; \quad i \in I; \quad j \in J$$

В этом и состоит свойство не убывания целевой функции $P_j^{im}(\dots)$.

Для решения задач (3) - (5) возможно использование метода максимального элемента [5], реализующего достаточно простые алгоритмы распределения ресурса средств ПН по маршрутам диагностического контроля и назначения количества средств ПН по элементам РЭО в каждом маршруте. В качестве элемента назначения в ИОС используется средство ПН, последовательно назначаемое по i -ым задачам и определяется значение i^* , для которого обеспечивается

$$i^* = Arg \max_{\{i\}} \Delta P_j^{i^*}(\dots); \quad j \in J; \quad i \in I, \quad (6)$$

для различных вариантов $\{x_{jv}^i\}$ плана назначения средств ПН в каждом $v = \overline{1, V}$ маршруте диагностического контроля в условиях действия ограничений:

$$\sum_{i \in I} y_j^i = \mathcal{E}_j^i R_j; \quad j \in J,$$

где \mathcal{E}_j^i – количество одновременно обслуживаемых маршрутов диагностического контроля (из R_j) ИОС в j -ом участке ДУП;

$\Delta P_j^{i\ddot{i}}(\dots) \geq \varepsilon$, где $\Delta \varepsilon$ – заданная величина приращения вероятности ПН в структуре РЭО за счет назначения ИОС средств ПН в j -ом участке ДУП, меньше которой его назначение для решения i -ой задачи является нецелесообразным.

Последнее ограничение определяется при решении задач технико-экономической целесообразности использования внутренних ресурсов ИОС, приведенных в [1, 6].

Исходя из этого, при решении задачи распределения внутреннего ресурса ИОС по маршрутам диагностического контроля и наиболее важным элементам РЭО могут быть определены: относительная важность диагностируемых элементов РЭО и средние значения назначаемых ресурсов средств ПН, которые далее могут быть использованы в математических моделях оценки эффективности применения различных вариантов ИОС.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определим исходя из (4) состояния РЭО с заданной на нем вероятностной мерой пронумеровав все элементы РЭО в определенной последовательности от 1 до n и поставив каждому из них в соответствие 0 или 1 в зависимости от того, исправен он или нет. Это позволяет получить числовую последовательность, которая будет количественно описывать состояние РЭО. Всего таких состояний (последовательностей) будет 2^n . Все множество состояний S можно рассматривать как пространство элементарных событий $S_k \in S$, $k = \overline{1, 2^n}$, каждое из которых может наступить в процессе эксплуатации РЭО в течение определенного времени в предположении, что отказ одного из элементов не влияет на вероятность отказа других, с вероятностью, равной

$$p(S_k) = \prod_{j \in J} p_j \prod_{i \in I} (1 - p_i) \quad (7)$$

где p_j – вероятность отказа j -го элемента РЭО;

I – множество номеров элементов, которые неисправны;

J – множество номеров исправных элементов.

В общем случае качество работы ЛПР по ПН можно учесть по результатам анализа неисправных / исправных состояний элементов РЭО, которые в соответствии с теорией информации количественно определяются на основе энтропии его состояний, то есть нахождения приращения $\Delta P_j^{i\ddot{i}}(\dots)$ за счет введения дополнительных точек контроля. В математическом смысле энтропия представляет в этом случае логарифм числа доступных состояний исправности РЭО в процессе эксплуатации, вскрываемых ЛПР. При этом если состояния исправности РЭО вскрыв-

аются ЛПР по степени доступности (не равновероятно), то энтропия числа состояний в виде их эффективного количества представляется зависимостью [7]

$$H = \log \bar{N} = - \sum_{i=1}^N \log(1/p_i), \quad (8)$$

где p_i – вероятность состояния РЭО; \bar{N} – количество состояний РЭО.

Из (8) следует, что множеству исправных / неисправных состояний РЭО требуется адекватное им установление соответствующего множества N решений ЛПР по методам (процедурам) и средствам поиска неисправностей. Если же они отсутствуют, что является результатом отсутствия / искажения информации или наличия ошибок о реальном состоянии РЭО в процессе его диагностического анализа ЛПР, то решение отсутствует. Исходя из этого, процесс поиска неисправностей ЛПР заключается в снижении числа неконтролируемых состояний РЭО. Для определения предельных возможностей ЛПР по поиску Y неисправностей в РЭО, т.е. уменьшения энтропии $H(Y/X)$, используется зависимость:

$$H(Y/X) = H(Y) - H(X) + H(X/Y), \quad (9)$$

из которой следует, что для обеспечения повышения показателя эффективности поиска неисправностей в РЭО требуется: уменьшать число $H(Y)$ неопределенных состояний РЭО; увеличивать множество $H(X)$ диагностических проверок ЛПР, приближая их к множеству $H(Y)$ состояний РЭО и снижать неоднозначность диагностических процедур поиска неисправностей ЛПР относительно $H(X/Y)$ состояний РЭО, что возможно только при наличии полной (полученной) информации о нем. Это позволяет определить требования к энтропии вскрытия состояний РЭО, которая должна удовлетворять условию $H(Y/X) \geq H(Y) - H(X)$, характеризующем предельные возможности ЛПР по поиску неисправностей его РЭА. Достижение же равенства возможно при условии достижения однозначного соответствия решений по поиску неисправностей ЛПР оцениваемым состояниям РЭО. Исходя из этого, обоснованность принимаемых решений диагностического контроля ЛПР по степени их соответствия состояниям РЭО можно представить в виде:

$$H(X)_{mp} = \max H(X) \geq H(Y), \quad (10)$$

определяющем, что требуемая энтропия процесса поиска неисправностей ЛПР должна быть не меньше энтропии состояний РЭО.

На практике случайные отклонения состояний и характеристик РЭО не поддаются точному определению ЛПР, погрешности возникают также при выработке им корректирующих решений и при их исполнении на радиоэлек-

тронной аппаратуре (РЭА). В силу этого однозначная связь между решениями ЛПР и состояниями РЭО отсутствует и условная энтропия $H(X/Y)$ больше нуля. Это приводит к необходимости структуризации области применения РЭО и определения характерных условий их эксплуатации.

Анализ нормативно-технической документации по эксплуатации РЭО показывает, что в каждой предметной области к их применению задаются определенные количественные уровни их безотказной работы – исправности. В качестве количественного показателя эффективности диагностического анализа состояний РЭО исходя из (5) и (8) рассматривается приращение эффективности решения задачи ПН в иерархической структуре элементов РЭО, определяемой зависимостью

$$\Delta P = \frac{I(S, H)}{H(S)},$$

где $H(S)$ – неопределенность состояния РЭО, равная количеству информации, которое необходимо получить при определении, в каком конкретном состоянии он находится, равная

$$H(S) = -\sum_{k=1}^{2^n} p(S_k) \log p(S_k),$$

где $I(S, H)$ – количество информации, которое в среднем доставляет результат диагностического анализа состояний РЭО, рассчитываемое по формуле

$$I(S, H) = H(Y) - H(Y/S),$$

где $H(Y)$ – неопределенность исхода диагностического анализа состояний РЭО, определяемая в виде

$$H(Y) = -\sum_{y_i \in Y} p(y_i) \log p(y_i).$$

Условная неопределенность исхода диагностического анализа $H(Y/S) = 0$, поскольку неопределенность появления Y_i при заданном состоянии РЭО $S_k \in S$ равна нулю. Отсюда $I(S, H) = H(Y)$ и значение приращения эффективности ПН, будет определяться отношением

$$\Delta P = \frac{H(Y)}{H(S)}.$$

Поскольку состояния отдельных элементов РЭО считаются статистически независимыми, то энтропия его состояний равна сумме энтропий отдельных элементов:

$$H(S) = \sum_{j=1}^n H(X_j)$$

где X_j – множество состояний j -го элемента РЭО, состоящее из нуля и единицы;

$H(X_j)$ – энтропия состояний j -го элемента РЭО, рассчитываемая в виде:

$$H(X_j) = -p_j \log p_j - (1 - p_j) \log(1 - p_j).$$

Для точного определения состояния РЭО необходимо, чтобы количество информации, которое в среднем получается в результате диагностического анализа состояний РЭО, определялось как $I(S, Y) = H(S)$. В этом случае значение приращения вероятности ПН будет равно $\Delta P = 1$. В случае невозможности получения информации о состоянии РЭО, $I(S, Y) = 0$ и эффективность ПН $\Delta P = 0$. Результаты расчетов показывают, что применение дополнительных программно-аппаратных точек контроля обеспечивает повышение на 10–30% эффективность поиска неисправностей в РЭО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов распределения точек дополнительного контроля по элементам РЭО возможно осуществить оптимальное с точки зрения диагностического анализа их количество, позволяющее локализовать отказы с точностью до выделенной структурной единицы РЭО. При некотором количестве точек контроля практически отсутствует пересечение подмножеств элементов, которые соответствуют различающимся y_i . С увеличением количества точек контроля структурные единицы РЭА становятся более мелкими, а их количество растет. Поэтому количество точек контроля выбирается из условия получения наиболее эффективного и удобного с практической точки зрения распределения элементов РЭО по структурным единицам и возможностям применения различных средств технической диагностики – встроенных, аппаратно-программных и внешних.

Прирост эффективности контроля ΔP на основе применения дополнительных точек контроля, определяемых в виде $P = P_0 + \Delta P$, где $P_0 \rightarrow const$ представляет базовую вероятность эффективности системы контроля РЭО, задаваемую заводом-изготовителем. При фиксированном значении P_0 вероятности поиска неисправности с помощью встроенных точек контроля P прирост эффективности ΔP достигается введением дополнительных точек контроля для одиночных, групповых и кратных неисправностей, что раньше не учитывалось.

На основе морфологического анализа структуры элементов РЭО, верификации и систематизации типовых и характерных неисправностей РЭА определяются маршруты поиска сложных одиночных, групповых и кратных неисправностей, обеспечивающих учет влияния числа маршрутов и средств поиска неисправностей от степени их перекрытий по функциональным элементам и их взаимосвязям в структуре РЭО.

Обоснование маршрутов поиска неисправностей осуществляется на основе структурно-алгоритмических связей функционирования РЭО с учетом важности, функцио-

нальности и частности, зависящих от условий применения средств РЭО.

В настоящее время не представляется возможным полностью автоматизировать процесс поиска неисправностей вследствие структурности и иерархичности и неявности их проявления, что требует для задач поиска неисправности дополнительного применения типовой контрольно-измерительной аппаратуры на основе известных алгоритмов поиска неисправностей с учетом особенностей функционирования элементов РЭО.

Список использованных источников и литературы

1. Мистров Л.Е. Метод синтеза информационно-обучающих систем (тренажеров) поиска неисправностей в радиоэлектронных объектах // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2021. Т. 19, №1. С. 14–35.
2. Мистров Л.Е., Белоцерковский О.А. Модель формирования вариантов решений в информационно-обучающих системах по поиску неисправностей в сложных радиоэлектронных объектах // Наукоемкие технологии. 2018. Т. 19, №2. С. 28–35.
3. Мистров Л.Е., Белоцерковский О.А. Основы синтеза информационно-обучающих систем поиска и устранения неисправностей в радиоэлектронных объектах // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 2 (54). С. 16–24.
4. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация. Целочисленное программирование. – М.: URSS, 2023. – 192 с.
5. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. – М.: Советское радио, 1974. – 304 с.
6. Мистров Л.Е. Метод технико-экономического обоснования оптимального состава обеспечивающей организационно-технической системы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. Т. 6, № 12. С. 91–106.
7. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: учебное пособие. – СПб.: Бизнес-пресса, 2000. – 326 с.

METHOD OF SUBSTANTIATION OF ADDITIONAL POINTS FOR DIAGNOSTIC ANALYSIS OF THE SERVICEABILITY OF COMPLEX RADIO-ELECTRONIC OBJECTS

Mistrov L.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the VUNTS Air Force "VVA" (Voronezh), Central Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "The Russian State University of Justice", Chief Specialist, Russian Standardization Institute

Belotserkovsky O.A., VUNTS Air Force "VVA" (Voronezh), teacher of the department

The basis for the construction of information and training systems (ITS) for the training of diagnostic specialists for equipment of complex radioelectronic objects (REO) and troubleshooting are methods of localization of elementary, group and multiple (dependent) faults. Due to the fact that the built-in control points do not allow in practice to apply methods of statistical analysis and forecasting of the technical conditions of REO, the task arises of substantiating additional control points by solving two groups of typical optimization subtasks.

The first group is related to the distribution of the allocated resource of troubleshooting facilities along the routes of diagnostic control of the most important elements of REO, and the second group is the optimal distribution of the number of troubleshooting facilities among the control elements of the specified sections of the range of conditions for the use of functional parts (subsystems) of REO. The difficulties of solving these optimization problems are as follows: a) the use of ITS provides a simultaneous solution to the search for group and multiple faults, taking into account the results of the effectiveness of the built-in control points; b) the number of means of group and multiple faults is limited by the effectiveness of the means of searching for elementary faults.

The solution to this problem of optimal distribution of ITS resource among the most important elements of REO is carried out on the basis of branch and bound methods, maximum element and procedures for finding optimal solutions. At the same time, the indicator of the efficiency of resource distribution of troubleshooting funds in the ITS is based on the increase in the average probability of solving troubleshooting problems, based on the ratio of the amount of information that needs to be obtained about the state of the electronic equipment to the amount of information that is obtained as a result of diagnostic control. This made it possible, based on the distribution of additional control points, to optimize their number for localizing faults with an accuracy of the selected structural unit of the electronic equipment.

Keywords: radio-electronic object, types of faults, information and training system, technical diagnostics, additional control points, software and hardware troubleshooting tools, optimization of tools.

For citation: Mistrov L.E., Belotserkovsky O.A. Method of substantiation of additional points for diagnostic analysis of the serviceability of complex radio-electronic objects. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024. 4 (79): 33–40. (In Russ.).

References

1. Mistrov L.E. Metod sinteza informacionno-obuchayushchih sistem (trenazherov) poiska neispravnostej v radioelektronnyh ob"ektah. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 14–35.
2. Mistrov L.E., Belotserkovsky O.A. Model' formirovaniya variantov reshenij v informacionno-obuchayushchih sistemah po poisku neispravnostej v slozhnyh radioelektronnyh ob"ektah. Naukoemkie tekhnologii, 2018, vol. 19, no. 2, pp. 28–35.
3. Mistrov L.E., Belotserkovsky O.A. Osnovy sinteza informacionno-obuchayushchih sistem poiska i ustraneniya neispravnostej v radioelektronnyh ob"ektah. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2020, no. 2 (54), pp. 16–24.
4. Kovalev M.M. Diskretnaya optimizaciya. Celochislennoe programmirovaniye. Moscow: URSS Publ., 2023, 192 p.
5. Berzin E.A. Optimal'noye raspredeleniye resursov i elementy sinteza sistem. Moscow: Sovetskoe radio Publ., 1974, 304 p.
6. Mistrov L.E. Metod tekhniko-ekonomicheskogo obosnovaniya optimal'nogo sostava obespechivayushchej organizacionno-tekhnicheskoy sistemy. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2008, vol. 6, no. 12, pp. 91–106.
7. Spitsnadel V.N. Osnovy sistemnogo analiza: uchebnoye posobie. Saint-Petersburg: Biznes-pressa publ., 2000, 326 p.

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ

Мистров Л.Е., д-р техн. наук, проф., проф., проф. кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Центральный филиал «Российский государственный университет правосудия», гл. спец. ФГБУ «Институт стандартизации»

Кучевский К.В., начальник учебно-тренажного комплекса ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Поляков О.В., преподаватель ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Основу подготовки специалистов для приобретения навыков принятия решений по способам применения сложных радиоэлектронных объектов на множестве условий взаимодействия с внешней средой составляет разработка интеллектуальных тренажерных систем (ИТС). ИТС характеризуется большим числом технологических операций по анализу, обработке информации и выработке на ее основе решений, многообразием программно-аппаратных средств, множеством вариантов их использования и специфичностью условий протекания информационных процессов при решении учебно-тренажных задач. Функционирование ИТС обеспечивается на основе архитектурных решений с помощью диспетчеров команд и соответствующих данных, трансформирующих иерархическую структуру в сетевую с узлами последовательной и параллельной сборки.

В основе оптимизации функционирования ИТС лежит процедура представления ИТС в виде конечного ориентированного ациклического графа с множеством вершин, соответствующих одной или нескольким задействованным для решения задачи моделям. При этом оперативность выполнения работ определяется матрицей времени перестройки диспетчеров. Это позволяет для оценки динамики функционирования архитектуры ИТС в качестве варьируемых параметров использовать очередность передачи информации по ходу информационного процесса (операций). Для обеспечения синхронизации их работы предложен алгоритм обоснования работы диспетчеров на основе выбора и распределения операций диспетчером. Модель и алгоритм разработаны на основе положений теорий расписаний, графов и принятия решений.

Ключевые слова: интеллектуальная тренажерная система, архитектура, диспетчер команд, диспетчер данных, расписание, распределение, операция, информация, модель, алгоритм.

Цитирование: Мистров Л.Е., Кучевский К.В., Поляков О.В. Модель и алгоритм логистической поддержки архитектуры интеллектуальной тренажерной системы // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4(79). С. 41–45.

ВВЕДЕНИЕ

Основу архитектуры информационной тренажерной системы (ИТС) составляют диспетчеры команд и данных, обеспечивающие динамический процесс функционирования элементов и системы в целом на основе выбора и распределения управляющих команд и данных и их динамического распределения по информационным операциям (ИО) [1, 2]. ИТС представляет сложную иерар-

хическую структуру, состоящую из нескольких уровней специализированного методического обеспечения и реализующих их средств программного обеспечения, которые могут условно задействоваться как автономно при решении специфических задач, так и в комплексе при решении взаимозависимых и взаимообусловленных задач. Основу программного обеспечения составляют модели и методики, обеспечивающие решение задач оценки эффективности применения составных частей и сложных радиоэ-

лектронных объектов в целом на иерархических уровнях конфликта с информационными системами и средствами конкурирующих организаций. Функционирование ИТС обеспечивается на основе архитектурных решений с помощью диспетчеров выдачи управляющих команд и соответствующей совокупности данных, трансформирующих иерархическую структуру архитектуры в информационную сеть с узлами последовательной и параллельной сборки и разуплотнения информации – систем команд (с указанием соответствующих адресов) и данных. Это обстоятельство значительно усложняет решение задачи распределения многоаспектного ресурса операций работы диспетчеров с информацией для всей ИТС в целом.

При разработке алгоритма реализации последовательных и параллельных процедур работы диспетчеров с информацией используются положения теории расписаний [3] для ИТС, структурно состоящей из отдельных (уровней) иерархической системы методического обеспечения и декомпозиционным подходом к решению подобных задач [4] с учетом специфических особенностей ее архитектуры: относительной автономности составляющих моделей (методик) и иерархических уровней программного обеспечения и возможности выполнения каждой процедурой не одной задачи, а нескольких реализующих операций в интересах решения некоторой номенклатуры задач передачи/приема информации потребителям – отдельным и системе методического обеспечения в виде обобщающих участков информационной сети при решении специфических информационно-расчетных задач.

Задача, вследствие широкого применения ИТС для подготовки специалистов по применению сложных радиоэлектронных объектов, является новой, актуальной, методы решения которой в известной литературе отсутствуют или приводятся в некотором обобщенном виде, не позволяющем их использовать для решения конкретных практических задач. Это определило целевую направленность и содержание предлагаемой статьи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть для передачи / приема информации – систем команд (с определенными адресами) и данных потребителям $I = \{1, \dots, i, \dots, n\}$ на множестве диспетчеров $L = \{1, \dots, j, \dots, m\}$ требуется выполнение некоторого определенного множества операций. Здесь и далее, используя понятие вида диспетчера, учитывается их емкость передаваемого / принимаемого информационного пакета по видам информации для заинтересованных потребителей. В общем случае архитектура ИТС характеризуется совокупностью линейных процедур $k = \{1, \dots, k, \dots, K_s\}$, каждая из которых характеризуется собственной номенклатурой передаваемой / принимаемой информации $I_k \subset I$, совокупностью используемых диспетчеров $L_k \subset L$ и номенклатурой выполняемых ими работ $N_k \subset N$, представляющих собой непересекающиеся последовательности ИО [4] для

передачи каждого вида информации из I_k . Представим такую систему в виде конечного ориентированного ациклического графа $G = (K, V)$ с множеством вершин K и дуг V . Каждая вершина $k \in K$ графа G соответствует одной или нескольким задействованным для решения специфической задачи моделям (методик), каждая пара вершин $(k, k') \subset K$ соединяется дугой $v_{kk'} \in V$, направленной от вершины k к вершине k' , если хотя бы один вид информации из I_k перемещается по данной дуге.

Построенный граф G представляет собой исходную модель структуры архитектуры ИТС и содержит некоторое множество вершин $K' \in K$ с нулевой полустепенью захода и одну вершину $k^* \in K$ с нулевой полустепенью исхода. Эта вершина соответствует модели (методике), передача информации которой непосредственно предшествует выполнению информационно-расчетных задач последующей задействованной моделью (методикой) или получению конечного результата.

На основе графа G построим графы G_{II} и G_T , которые используются для составления расписаний задействования диспетчера для работы с соответствующим видом информации.

Для получения графа $G_n = (I, V_n, W_n)$ каждую вершину $k \in K$ графа G заменим множеством вершин $I_k \subset I$ и каждую дугу $v_{kk'} \in V$ – множеством дуг $V_{kk'} \in V_I$. При этом каждая пара вершин $(i_k, i_{k'})$ (где $i_k \in I_k, i_{k'} \in I_{k'}$) соединяется дугой $v_{i_k, i_{k'}} \in V_{kk'}$, направленной от вершины i_k к вершине $i_{k'}$, если i_k вид информации необходим для совместной передачи / приема с $i_{k'}$ видом. Каждой вершине поставим в соответствие число $W_n(i_k) \in R^+$ (где R^+ – множество положительных чисел), определяющее размер пакета передаваемого вида информации i_k , необходимый для передачи пакетов всех видов информации, которым соответствуют вершины, связанные с вершиной i_k и направленные от нее к ним. Построенный граф G_{II} характеризует размеры пакетов всех видов информации, необходимой для доставки в конечный пункт, а также порядок их доставки из разных участков.

Рассмотрим возможность использования графа G_{II} для построения графа $G_T = (N, V_{II})$, характеризующего маршрут (технология) доставки информации в конечный пункт доставки (построенный граф G_m не является взвешенным, и каждой его вершине не удастся поставить в соответствие число, однозначно определяющее время выполнения данной работы из-за простоя диспетчера). Для этого каждую вершину i_k графа G_{II} заменим новой вершиной $N_{i_k} \in N$, соответствующей работе, посредством которой доставляется этот вид информации. Каждая вершина N_{i_k} графа G_T в свою очередь является последовательным графом $G_{i_k} = (P_{i_k}, V_{i_k}, W_{i_k})$ (с множеством вершин P_{i_k} , дуг

V_{i_k} , функций $W_{i_k} : P_{i_k} \rightarrow R^+$), определяющим последовательность составляющих данную работу элементов и ИО $P_{i_k} = (i_k l_1, \dots, i_k l_j, \dots, i_k l_{i_k})$, где каждый элемент характеризуется индексом принадлежности к l_j диспетчеру и индексом принадлежности к работе N_{i_k} . Функция $W_{i_k} \in R^+$ каждой вершине ставит в соответствие число $W_{i_k}(i_k l_j) = t_{i_k l_j}^0$, определяющее время выполнения данной операции.

Для задания в архитектуре ИТС требований по оперативности выполнения работ для каждого типа диспетчера $l_k \in L_k$ из участка с номером k определим матрицу времени перенастройки $M_{i_k} = \|t_{i_k l_k}^0\|$, $i_k \in I_k$ и, используя граф G_T , определим множество выполняемых этим типом диспетчера работ $N_{i_k} \subset N_k$.

При такой постановке в качестве критериев оценки расписаний могут выступать различные показатели, характеризующие динамику функционирования архитектуры ИТС, например: длительность технологического цикла, суммарное время простоев или перенастроек диспетчера. Варьируемым же параметром при этом может являться очередность передачи информации на всех первых (по ходу процесса) ИО. Это позволяет решение задачи оптимизации можно свести к определению оптимального для каждого типа диспетчера $l \in L$ порядка выполнения им ИО и моментов их начала.

АЛГОРИТМ ОБОСНОВАНИЯ РАСПИСАНИЙ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРОВ

Особенностью решения задачи составления расписаний работы диспетчеров является необходимость учета двух факторов, характеризующих работу ИТС:

- энергозависимость ИО относительно используемого в них диспетчера;
- связанность по времени передачи видов информации.

Первый из этих факторов позволяет провести декомпозицию задачи оптимизации работы диспетчеров, второй – порождает проблему обеспечения синхронизации их работы.

Декомпозиция сформированной задачи определения расписания работы диспетчеров архитектуры ИТС основывается на:

- разбиении графа G на подграфы;
- решении для каждой вершины подграфа, соответствующей определенному участку, задачи составления расписаний;
- агрегировании результатов решения подзадач в общее решение задачи.

В результате разбиения графа G получим подграфы G^1, \dots, G^r , представляющие собой ранговую структуру вершин графа G с r -рангами. При этом ранговая структура строится в направлении от вершин множества \dot{K} , имеющих нулевую полустепень захода к вершине k^* , имеющей нулевую полустепень исхода. Затем, перейдя от графа G к графам G_T и G_{II} можно сформулировать для каждого участка отдельного подграфа задачу составления расписаний.

Проблему обеспечения синхронизации работы диспетчеров из разных участков на ИО можно уменьшить установлением определенного порядка доставки номенклатуры информации и фиксацией этого порядка для всех видов информации (работ) в соответствии с принадлежностью их к видам информации. Поэтому проблема синхронизации решается в направлении, обратном направлению декомпозиции задачи: от вершины k^* графа G к вершинам множества \dot{K} .

Рассмотрим процедуры, обеспечивающие осуществить такое упорядочение. Пусть $N' = N / N_{k^*}$.

1. Упорядочим все работы множества N_{k^*} , т.е. каждой работе $N_i \in N_{k^*}$ присвоим приоритет доставки различного размера пакета информации z_i .
2. Положим $z = 1$.
3. Выделим из N_{k^*} работу N_i , имеющую $z_i = z$, а из \dot{N} (используя граф G_T) все предшествующие работы из других участков, последовательность выполнения которых определяет технологию доставки i -ой информации.
4. Подмножествам выделенных работ из \dot{N} присвоим приоритет $z : \forall k \neq k^* N_k^z = \{N_1^z, \dots, N_\eta^z\}$, где η – число работ из участка с номером k .
5. Исключим из \dot{N} все вновь выделенные работы.
6. Если $\dot{N} = 0$, упорядочение закончено, в обратном случае положим $z = z + 1$ и вернемся к п. 3. Используя данные процедуры, получим: $\forall k N_k = N_k^{z_1} \dots \bigcup N_k^{z_2} \dots \bigcup N_k^{z_{k^*}}$, где $N_k^{z_i}$ – подмножество работ, имеющих общий приоритет z_i . Индуцируя $z_{k^*}!$ порядок выполнения работ из множества N_{k^*} (здесь приоритеты z играют роль варьируемых параметров задачи), можно получить столько же вариантов разбиения множеств N_k на подмножества N_k^z и соответственно столько же d -ых путей реализации составления расписаний диспетчером. Это в свою очередь позволит лицу, принимающему решения, сформировать искомое множество $\{d = const, z\}$.

Присвоение каждой работе приоритета передачи пакета информации позволяет устанавливать очередность начала выполнения работ в каждом участке вне зависимости от времени поступления информации на первые ИО этих работ. При этом, теряя, возможно, часть времени из-за иг-

норирования правила «первым пришел – первым обслужили», в конце концов, выигрываем, учитывая технологию доставки каждого вида информации.

После упорядочения работ составить расписание внутри каждого участка не представляет особых трудностей. Для этого, можно воспользоваться одной из известных диспетчеризаций в совокупности с одним из правил предпочтения (например: «RAN» – равновероятный выбор готовых к работе операций; «SPT» – выбор кратчайшей ИО; «MWKR» – выбор ИО, соответствующей работе с максимальной длительностью всех оставшихся ИО [3]. При этом, учитывая возможную многономенклатурность доставляемых диспетчером информации, время готовности l -го типа диспетчера к передаче i -го (следующего) вида информации рассчитывается следующим образом: $t_i'' = t_j' + t_j^P$, где t_j' – время окончания обработки l -м типом диспетчера j -го (предыдущего) вида информации.

Целиком алгоритм составления расписаний представляется в виде логической последовательности действий:

1. Граф G разбить на подграфы G^1, \dots, G^r .
2. Определенным образом упорядочить работы из множества N_{k^*} .
3. В соответствии с приоритетами работ из N_{k^*} установить приоритеты всем остальным работам.
4. Для каждого участка отдельного подграфа составить расписание выполнения работ. При этом рассматривать подграфы в соответствии их номерам: сначала G^1 , затем G^2 и т.д.; при составлении расписания, пре-

жде всего, назначать времена начала выполнения первой ИО работ, согласно их приоритетам, а затем всем остальным ИО, согласно выбранной диспетчеризации.

5. Если другие варианты упорядочения работ из множества N_{k^*} рассматриваться не будут, перейти к п. 6, в обратном случае к п. 2.
6. Выделить из множества допустимых расписаний Парето-оптимальное множество.
7. Выбрать лучшее расписание из множества по Парето.

Любая из приведенных диспетчеризаций, с помощью которой можно составить расписание функционирования архитектуры ИТС, представляет по существу алгоритм имитационного моделирования. При этом такой алгоритм реализует процесс имитации событийным способом, когда текущее время в модели отслеживается по мере наступления тех или иных событий, связанных с началом или завершением выполнения ИО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, качество решения задачи составления расписаний ухудшается при увеличении размерности задачи [3]. Вероятность получения оптимального решения еще более снижается при сложной сетевой структуре архитектуры ИТС. В связи с этим предложенный алгоритм позволяет преодолеть, прежде всего, трудности структурного характера. Полное же решение задачи определяется качеством упорядочения работ диспетчеров из N и составления расписаний внутри каждого участка выполнения информационно-расчетных задач ИТС.

Список использованных источников и литературы

1. Мистров Л.Е., Поляков О.В. Концептуальная модель синтеза архитектуры интеллектуальных тренажерных систем подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). С. 52–64.
2. Мистров Л.Е., Поляков О.В., Шацких В.М. Основы построения архитектуры интеллектуальных тренажеров подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2022. Т. 20, № 1–2. С. 57–73.
3. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 360 с.
4. Канцедал С.А. Декомпозиционный подход к решению задач теории расписания и большой размерности // Автоматика и телемеханика. 1983. № 10. С. 144–151.
5. Норенков И.П., Кузмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий CALC-технологий: монография. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
6. Судов Е.В. Интегрированная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы: Монография. – М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.

MODEL AND ALGORITHM OF LOGISTIC SUPPORT OF INTELLIGENT TRAINING SYSTEM ARCHITECTURE

Mistrov L.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the VUNTS Air Force «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh), Central Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «The Russian State University of Justice», Chief Specialist, Russian Standardization Institute

Kuchevsky K.V., head of the training complex of the VUNTS Air Force «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh)

Polyakov O.V., teacher at the Air Force Educational Training Center «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh)

The basis for training specialists to acquire decision-making skills for the use of complex radio-electronic objects in a variety of conditions of interaction with the external environment is the development of intelligent training systems (ITS). ITS is characterized by a large number of technological operations for the analysis, processing of information and the development of solutions based on it, a variety of software and hardware, a variety of options for their use and the specificity of the conditions of information processes in solving educational and training tasks. The functioning of ITS is provided on the basis of architectural solutions with the help of command controllers and related data, transforming the hierarchical structure into a network structure with serial and parallel assembly nodes.

The optimization of ITS functioning is based on the procedure for representing ITS in the form of a finite oriented acyclic graph with a set of vertices corresponding to one or more models involved in solving the problem. At the same time, the efficiency of work is determined by the matrix of the time of adjustment of dispatchers. This makes it possible to use the sequence of information transmission during the information process (operations) as variable parameters to assess the dynamics of the functioning of the ITS architecture. To ensure synchronization of their work, an algorithm is proposed to justify the work of dispatchers based on the selection and distribution of operations by the dispatcher. The model and algorithm are developed based on the provisions of the theories of schedules, graphs and decision-making.

Keywords: intelligent training system, architecture, command manager, data manager, schedule, distribution, operation, information, model, algorithm.

For citation: Mistrov L.E., Kuchevsky K.V., Polyakov O.V. Model and Algorithm of Logistic Support of Intelligent Training System Architecture. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4(79): 41–45. (In Russ.).

References

1. Mistrov L.E., Polyakov O.V. Conceptual model for the synthesis of the architecture of intelligent training systems for training specialists in the use of radio-electronic objects. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2021, no. 4 (62), pp. 52–64.
2. Mistrov L.E., Polyakov O.V., Shatskikh V.M. Fundamentals of building the architecture of intelligent simulators for training specialists in the use of radio-electronic objects. Information-measuring and control systems, 2022, vol. 20, no. 1–2, pp. 57–73.
3. Conway R.V., Maxwell W.L., Miller L.V. Theory of schedules, Moscow: Nauka Publ., 1975, 360 p.
4. Kandedal S.A. Decomposition approach to solving problems of scheduling theory and large dimension. Automation and telemekhanics, 1983, no.10, pp. 144–151.
5. Norenkov I.P., Kuzmik P.K. Information support for high-tech products of CALC technologies: monograph. Moscow: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman Publ., 2002, 320 p.
6. Sudov E.V. Integrated support for the life cycle of engineering products. Principles. Technologies. Methods: monograph. Moscow: LLC Publishing House «MVM» Publ., 2003, 264 p.

3D-РЕКОНСТРУКЦИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКИМ ВМЕШАТЕЛЬСТВОМ

Немковский Г.Б., ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД», ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Работа посвящена исследованию особенностей хирургических вмешательств у неонатальных пациентов с использованием эндоскопических техник и требований, предъявляемых в связи с этими особенностями к оборудованию, предназначенному для регистрации положения хирургического инструмента. В работе приведены алгоритмы отображения и совмещения трехмерных моделей пациента и хирургического оборудования в информационной системе управления эндоскопическим вмешательством.

Цель работы – иллюстрация разработки информационной системы управления эндоскопическим вмешательством в части визуализации на трехмерной сцене взаимного расположения хирургического инструмента, применяемого в неонатальной хирургии и пациента с учетом особенностей проведения указанных видов вмешательства.

Ключевые слова: неонатальная хирургия, интраоперационная навигация, информационная система управления, контроль положения инструментов, медицинское изображение.

Цитирование: Немковский Г.Б. 3D-реконструкция в реализации информационной системы управления эндоскопическим вмешательством // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 46–54.

ВВЕДЕНИЕ

Системы поддержки принятия врачебных решений (СПВР) получают все большее распространение в мире. Для рассматриваемой предметной области (ПрО) – здравоохранения все активнее разрабатываются и применяются интеллектуальные СПВР в ходе амбулаторных приемов, оперативных вмешательств, для чего разрабатываются соответствующие базы данных (БД) для учета протоколов, медицинских изображений, относящихся к разным модальностям и инструментальной диагностики, и лабораторных исследований [1]. Созданию национальной системы интеллектуального анализа научных публикаций доказательной медицины, с целью повышения эффективности принятия информированных врачебных решений и мониторинга приоритетных направлений развития превентивной и персонализированной медицины, в последнее время уделяется особое внимание [2].

К основным инструментам и технологиям искусственного интеллекта в практике медицинских учреждений можно отнести такие направления, как медицинская диагностика и анализ изображений, прогнозная клиническая и управ-

ленческая аналитика, СПВР, интеллектуальный анализ данных носимых устройств, телемедицина и ряд других [3].

К компьютерным технологиям, используемым для хирургического планирования и выполнения хирургических процедур, относят CAS-технологии (от англ. Computer Assisted Surgery) или автоматизированные операции, представляющие собой хирургический подход, с которым связаны такие понятия, как компьютерная хирургия, компьютерное вмешательство, изображения управляемой хирургии, хирургическая навигация и др. В настоящей работе данный подход используется для планирования хирургических вмешательств, навигации или выполнения хирургических процедур, что повышает уровень безопасности пациента, снижает риск интраоперационных осложнений и сокращает период реабилитации [4]. Чаще всего CAS-системы применяются для проведения хирургических вмешательств при ортопедических патологиях и при патологиях головного мозга у взрослых пациентов [5].

Проведение хирургических вмешательств у неонатальных пациентов возрастом не более 1 месяца существенно отличается от хирургических манипуляций, проводимых

с пациентами прочих возрастных групп [6]. В силу специфики хирургических вмешательств у неонатальных пациентов, а также конструктивных особенностей известных систем, для хирургических вмешательств в неонатальном периоде требуется создание специализированных систем хирургической навигации. Текущий уровень развития хирургии, в том числе и в неонатальном периоде, предполагает создание новых технических решений для визуализации органов и систем пациента, а также патологических изменений в них, обуславливающих заболевание. Современная неонатальная хирургия стремится к проведению минимально инвазивных¹ оперативных вмешательств в коррекции врожденных пороков развития, при этом предпочтение отдается эндоскопическим хирургическим доступам, которые уже доказали свою эффективность, однако технически сложны и сопровождаются повышенными интраоперационными рисками. Эффективные методы и технологии обработки визуальной информации [7], а также возможности компьютерной графики могут быть решениями технической задачи автоматизированного сопровождения работы хирурга в естественной среде и условиях дополненной реальности [8].

Интраоперационная навигация на различных этапах проведения вмешательства позволит упростить и ускорить процесс [9], снизить риск осложнений и существенно сократить время разделения здоровых и патологических участков ткани легкого, облегчить поиск и обработку элементов корня пораженной доли легкого, особенно в нетипичных анатомических случаях.

Для отработки алгоритмов интраоперационного воздействия и синхронизации при создании информационной системы управления эндоскопическим вмешательством необходимы сегментированные DICOM-изображения [10]. Это является важным этапом разработки эффективного интраоперационного комплекса навигации в неонатальной хирургии.

Целью исследования является разработка способа применения диагностической информации при построении модуля интраоперационной интеграции моделей в системах хирургической навигации при пороках развития легких у неонатальных пациентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данное исследование строится базе Банка эталонных изображений (БЭИ), созданного на основе серий диагностических изображений в НМИЦ «АГиП им. В.И. Кулакова» Минздрава России (далее – Центр) в рамках ПНИЭР «Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования,

¹ Инвазивная процедура (от лат. *invasivus*; – «вхожу внутрь») – медицинская процедура, связанная с проникновением через естественные внешние барьеры организма (кожу, слизистые оболочки).

выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде». Создание и наполнение банка представлено в работах [11, 12].

Выборка изображений патологий производилась на основании анализа первичной медицинской документации по критерию наличия поставленного основного диагноза. Серии диагностических изображений были перенесены в отдельную БД и анонимизированы. Каждой серии присвоен код в соответствии с принятыми правилами. Описание, сегментация и адаптация серий изображений произведена с использованием панели инструментов прикладной программы «Mugian» согласно оригинальным разработанным алгоритмам действий и параметрам, предъявляемым системой хирургической навигации.

Сегментированные серии изображений использованы в качестве тестовых при реализации информационной системы управления эндоскопическим вмешательством в неонатальной хирургии.

Разработка программного обеспечения выполнена в среде разработки Qt v. 5.6.3 с компилятором mingw 4.9. Библиотека работы с трехмерными изображениями VTK 9.0.1 [13]. База данных реализована на СУБД PostgreSQL версии 9.6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе формирования БЭИ был произведен поиск, копирование и сегментирование всех имеющихся в архиве Центра серий лучевых исследований пациентов по признакам включения в целевые выборки. В БЭИ включены 924 серии изображений пациентов с врожденными пороками развития легких, 978 серий изображений пациентов с врожденными пороками развития мочевыводящей системы. Кроме того, в соответствии с принятыми допущениями об отнесении серий изображений к условно нормальным, к норме по легким были отнесены 356 серий изображений, к норме по мочевыводящей системе – 452 серии изображений.

Каждой серии диагностических изображений был присвоен идентификационный код со сквозной нумерацией. Код серии изображений имеет вид:

< код серии >::={LUNG_LIR_< патология ЛС>}{REN_LIR_< патология МВС>}_< номер >

где: <патология ЛС>::=CCAMIBSINORM;

<патология МВС>::=HNIMCIUHNINORMINCR;

<номер>::=<цифра>...

Таким образом, идентификационный код серии изображений содержит информацию об исследуемой системе

органов, стороне организма, врожденном пороке развития или норме. Расшифровка условных обозначений приведена в таблице.

Расшифровка условных обозначений

КОД	КОДИРУЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ
LUNG	Легочная система (ЛС)
REN	Мочевыводящая система (МВС)
R	Сторона поражения – правая
L	Сторона поражения – левая
CCAM	Врожденная кистозно-аденоматозная мальформация легкого
BS	Врожденная бронхолегочная секвестрация
HN	Гидронефроз
MC	Мультикистоз
UHN	Уретерогидронефроз нефункционирующего сегмента удвоенной почки
NORM	Норма по указанному органу
NCR	Статический материал

Сегментация и адаптация серий диагностических изображений нормы и врожденных пороков развития легких выполнена с использованием панели инструментов программы обработки диагностических изображений «Mugian Expert VL» согласно принятому плану действий для получения наибольшего объема диагностической информации. Для каждого вида пороков легкого и мочевыводящих путей разработаны соответствующие планы действий, с учетом анатомических особенностей и вариантов [11, 12].

Сегментированные и адаптированные серии диагностических изображений использовались для отработки формирования трехмерной сцены и алгоритмов интраоперационной калибровки информационной системы управления эндоскопическим вмешательством в неонатальной хирургии (ИСУ ЭВ). Регламент применения ИСУ ЭВ предусматривает, что на предоперационном этапе производится подготовка трехмерной модели зоны хирургического вмешательства. Модель реконструируется на основе предоперационного КТ/МРТ пациента в ручном режиме или с использованием автоматизированной системы реконструкции трехмерных изображений. Созданная трехмерная модель, ссылка на исходный DICOM и метаданные модели сохраняются в БД ИСУ ЭВ. Также на предоперационном этапе БД ИСУ ЭВ пополняется информацией, описывающей планируемое вмешательство.

На начальной стадии интраоперационного этапа, т. е. на стадии подготовки операционной в ИСУ ЭВ загружаются ранее созданные трехмерные модели, производится создание и настройка отображения виртуальной сцены, в которой

трехмерные модели операционного стола и манипулятора объединяются в общей системе координат с использованием регламентированной процедуры предоперационной калибровки. На стадии подготовки пациента (укладки пациента на операционном столе) с подготовленной виртуальной сценой совмещается трехмерная модель пациента (зоны хирургического вмешательства). Совмещение производится с использованием процедуры интраоперационной калибровки.

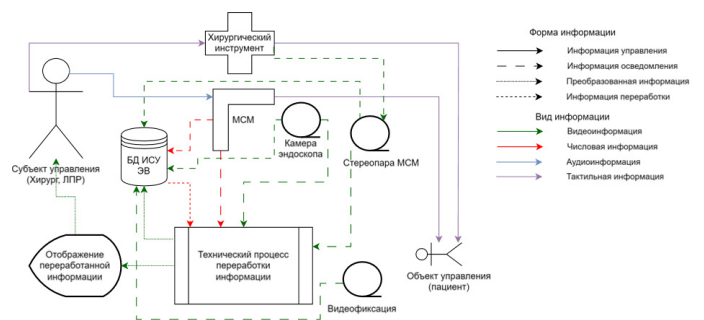


Рис. 1. Общая схема прохождения потоков данных интраоперационного этапа

В процессе хирургического вмешательства информация управления передается от субъекта управления (хирурга, лица, принимающего решение) на объект управления (пациента) посредством хирургического инструмента и многостепенного манипулятора (МСМ). Информация уведомления поступает технологический процессу переработки информации в виде данных об углах поворота всех осей МСМ, видеоинформации от камеры эндоскопа и видеоинформации о пространственном положении хирургического инструмента от стереоскопической системы наблюдения. Технологический процесс переработки информации заключается в расчете и отображении положения хирургического инструмента на виртуальной сцене, а также синхронизации моделей с входящими информационными аудио- и видеопотоками. Обработанная информация передается в визуализированном виде субъекту управления (СУ) и совместно с информацией осведомления протоколируется в БД для последующего просмотра и анализа. Общая схема прохождения потоков данных [14, 15] на интраоперационном этапе представлена выше (рис. 1).

Поскольку работа с ИСУ ЭВ на интраоперационном этапе предполагает, что на этапе планирования вмешательства подготовлена трехмерная модель зоны оперативного вмешательства для данного пациента, необходимо выбрать наиболее информационно емкую версию этой модели. Опрос практикующих неонатальных хирургов показал, что с точки зрения субъекта управления будет сегментированная и цветочисловая на этапе подготовки к операции полигональная 3D-модель зон интереса (ЗИ, ROI), отображающая только визуализируемые, наиболее зна-

чимые и критичные для проведения оперативного вмешательства внутренние структуры организма. Указанная модель может быть выгружена в стандартную информационную структуру, предназначенную для хранения информации такого рода. Информационная структура DICOM RT Structure специфицирована в разделе A19 международного стандарта DICOM [10].

Поскольку стандарт DICOM не ограничивает количество именованных ROI, хранимых в RT Structure set, мы можем задействовать и стандартизировать уникальную цветовую кодировку необходимого количества таких зон, каждая из которых при визуализации может быть независимо отображена или выключена. Кроме того, сохранение ЗИ в стандартной структуре позволяет легко совместить визуализацию необходимых к просмотру ROI с объемной реконструкцией исходного DICOM. Таким образом, при работе с DICOM целесообразно использовать для отображения зон интереса именно этот вариант. Для ИСУ ЭВ принято использование выгрузки сегментации в сочетании с исходным DICOM – изображением. Пример визуализации представлен на рис. 2.

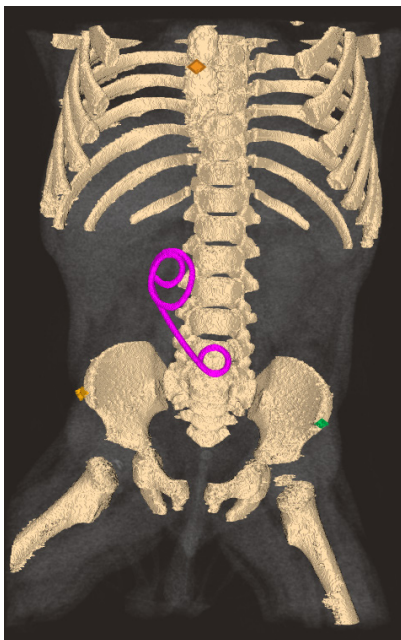


Рис. 2. Пример визуализации ЗИ «Кость», ЗИ «Калибровочные точки», ЗИ «Стенты и катетеры» с наложением на 3D-реконструкцию DICOM (отображение Composite Shade Ramp)

При разработке ИСУ ЭВ был разработан и внедрен в процесс подготовки к хирургическому вмешательству метод подготовки графических диагностических данных для пациентов с врожденными пороками развития легких и мочевыводящих путей, стандартизирующий процесс обработки результатов предоперационного диагностического

исследования пациента с сегментацией ROI в части последовательности операций сегментации, цветового кодирования и именования ROI [9]. Внедрение этого метода в ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России позволило сократить среднее время при выполнении вмешательств «Лобэктомия при КАМЛ» на 63 минуты (33%), при выполнении вмешательств «Перевязка аномального сосуда/сосудов и лобэктомия при интралобарной БС и комбинации БС с КАМЛ» на 76,53 минуты (35,5%), при выполнении вмешательств «Удаление интралобарной БС» на 57,5 минут (49%).

Для использования в ИСУ ЭВ, полученная модель пациента, состоящая из полигональной модели зон интереса и 3D-реконструкцией исходной серии диагностических изображений должна быть совмещена на трехмерной сцене с моделями хирургического стола, составными частями хирургического манипулятора и инструментами.

Для построения неодушевленных составляющих сцены могут быть использованы как стандартные примитивы (цилиндр, куб, сфера, конус), так и загружены полигональные трехмерные модели, сохраненные в одном из стандартных форматов: stl, obj или vtk. Для каждой модели или примитива, использованной для визуализации, может быть задан родительский объект, положение в пространстве (смещение относительно центральной точки родительского объекта, углы поворота по трем осям) по умолчанию, габаритные размеры. В БД ИСУ ЭВ основные данные о моделях, ограничения по изменению положения, прочие метаданные хранятся в отдельной информационной сущности «Хирургическое оборудование».

Программный модуль, обеспечивающий совмещение информации для ее последующего отображения, осуществляет процедуры интраоперационной калибровки (совмещения) навигационной информации, относящейся к интраоперационному этапу, и включающей в себя трехмерные модели зоны оперативного вмешательства и используемого хирургического инструмента. Этот модуль осуществляет совмещение и масштабирование трехмерных моделей для переноса в единую систему координат, и дальнейшего отображения в едином окне.

Для построения интраоперационной системы координат используются данные о положении контролируемого хирургического инструмента, видеопотока от эндоскопа, после чего именно в рамках построенной системы координат производится совмещение и отображение объединенной 3D-модели и информации, получаемой в ходе оперативного вмешательства, согласно настройкам, проведенным до начала операции, а также управляющей информации оператора системы (хирурга/ассистента).

Виртуальная сцена ИСУ ЭВ должна отображать изменения положения хирургического инструмента относительно па-

циента. Каждое сочленение виртуальной проекции манипулятора реагирует на изменения показаний энкодеров², установленных на реальных сочленениях, и производит отображение этих изменений. Контроль ручных линейных инструментов и вычисление их положения осуществляется с использованием стереокамер, расположенных на манипуляторе [16]. Размещение виртуальных камер в разных точках виртуальной сцены позволяет производить отображение содержимого виртуальной сцены с разных углов зрения, а также применять различные конфигурации режимов отображения трехмерных объектов.

Отображение совмещения 3D-модели пациента, создаваемой на основании радиологического исследования пациента, с пространственной моделью манипулятора с установленным хирургическим инструментом, рассчитываемой в реальном режиме времени на основании заложенных массогабаритных параметров манипулятора и инструмента, производится в следующих режимах:

- совмещение 3D-моделей зоны операционного вмешательства и манипулятора с инструментом;
- совмещение 3D-модели зоны операционного вмешательства и потока видео, передаваемого эндоскопом.

Помимо программных модулей совмещения, для ИСУ ЭВ разработаны программные модули отображения, предназначенные для выбора режима отображения совмещенной интраоперационной информации.

Выделены следующие группы процедур, обеспечивающих совмещение и отображение навигационной информации на интраоперационном этапе:

- процедур установки связи с техническими средствами получения информации (управляющим компьютером манипулятора, стереовидеокамерами) и предоперационной калибровки;
- процедуры интраоперационной калибровки и совмещения 3D-моделей;
- процедуры отображения навигационной информации на интраоперационном этапе.

Процедуры установки связи с техническими средствами получения информации служат для проверки корректности функционирования оборудования перед началом использования по назначению. Этапы работы данного программного компонента:

1. Загрузка настроек связи с УК манипулятора.
2. Установка связи с УК манипулятора.
3. Проверка параметров, получаемых от УК манипулятора.
4. Запуск алгоритма предоперационной калибровки.

Процедура предоперационной калибровки предназначена для проверки и/или корректировки калибровочных данных, необходимых для корректного совмещения и отображения информации о текущем положении хирургического инструмента относительно хирургического стола. Алгоритм предоперационной калибровки имеет следующую последовательность шагов:

1. Загрузка модели трехмерного стола.
2. Приведение положения манипулятора трехмерной модели в соответствие с реальным.
3. Запрос на совмещение хирургического инструмента и калибровочной(ых) точки(ек) на поверхности стола.
4. Проверка на совмещение трехмерной модели и калибровочной точки на трехмерной сцене.
5. При необходимости внесение корректирующих поправок в настройки программной составляющей комплекса.
6. Регистрация ручных инструментов.
7. Сохранение информации о проведении и результатах предоперационной калибровки в БД.
8. Формирование заключения о возможности продолжения работы системы.

Процедура интраоперационной калибровки (привязки трехмерной модели пациента к сцене) предназначен для сопряжения прототипа (пациента) и его трехмерной модели в координатах трехмерной сцены. В соответствии с разработанной математической моделью [16], реализуются следующие шаги алгоритма:

1. Загрузка трехмерной модели пациента (включая зоны интереса).
2. Выделение среди зон интереса калибровочных точек. (A, B, C).
3. Подсветка первой калибровочной точки на трехмерной модели (рис. 3а).
4. Физическое совмещение конца хирургического инструмента, зажато в манипуляторе и подсвеченной калибровочной точки.
5. Пользовательское подтверждение совмещения. Определение положения конечной точки инструмента D_0 . Сдвиг модели пациента с совмещением точек A и D_0 (рис. 3б).
6. Подсветка второй калибровочной точки на трехмерной модели.
7. Физическое совмещение конца хирургического инструмента, зажато в манипуляторе и подсвеченной калибровочной точки.
8. Пользовательское подтверждение совмещения. Определение положения конечной точки инструмента D_1 . Поворот модели пациента вокруг точки A для совмещения точек B и D_1 (рис. 3с). Осью вращения выбирается векторное произведение векторов $BA \times D_1A$.
9. Подсветка третьей калибровочной точки на трехмерной модели.

² Энкодер в данном случае – датчик угла поворота и преобразователь угловых перемещений.

10. Физическое совмещение конца хирургического инструмента, зажатого в манипуляторе и подсвеченной калибровочной точки.
11. Пользовательское подтверждение совмещения. Определение положения конечной точки инструмента D2. Поворот модели пациента вокруг оси вращения точки АВ до совмещения точек С и D2.

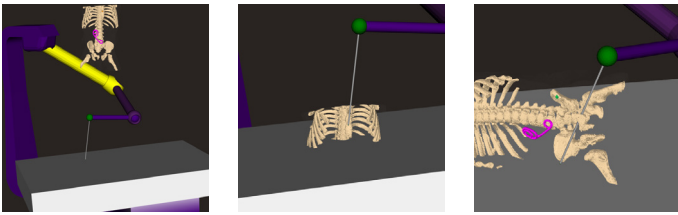


Рис. 3. Процедура интраоперационной калибровки

Схема взаимодействия программных компонентов подсистемы отображения ИСУ ЭВ приведена на рис. 4.

ВЫВОДЫ

В данном исследовании представлена методика применения сегментированных диагностических изображений пациента в информационной системе управления эндоскопическим вмешательством. Описаны алгоритмы ра-

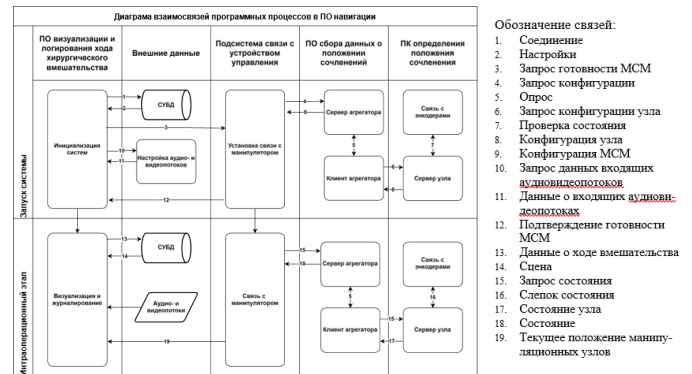


Рис. 4. Программные процессы отображения и совмещения 3D-моделей

боты программных компонентов отображения и совмещения 3D-моделей зоны оперативного вмешательства и используемого хирургического инструмента и порядок их применения. Описанные подходы позволяют расширить доступное хирургу отображение процесса проведения хирургического вмешательства, совмещая изображение, получаемое от камеры эндоскопа с трехмерной моделью пациента и визуализируя положение эндоскопа и хирургических инструментов относительно модели пациента и его внутренних органов, что облегчает и ускоряет принятие решений, принимаемых в ходе проведения эндоскопического хирургического вмешательства.

Список использованных источников и литературы

1. Карпов О.Э., Субботин С.А., Шишканов Д.В. Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия врачебных решений // Врач и информационные технологии. 2019. № 2. С. 11–18.
2. Создание информационной системы поддержки принятия врачебных решений на основе / Г.С. Лебедев, Э.Н. Фартушный, И.А. Шадркин [и др.] // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2019. Т. 5, № 1. С. 8–16.
3. Гусев А.В., Шарова Д.Е. Этические проблемы развития технологий искусственного интеллекта в здравоохранении // Общественное здоровье. 2023. Т. 3, № 1. С. 42–50. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2023-3-1-42-50>.
4. Жук Д.М., Перфильев С.А. CAS системы – системы автоматизированного проектирования в хирургии // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 3. С. 6.
5. Mandel M., Amorim R., Paiva W., Prudente M., Teixeira M.J., de Andrade A.F. 3D preoperative planning in the ER with OsiriX®: when there is no time for neuronavigation // Sensors. 2013. 13(5). С. 6477–6491.
6. Исаков Ю.Ф., Володин Н.Н., Гераськин А.В. Неонатальная хирургия. – М.: Династия, 2011. – 680 с.
7. Qin F., Lin S., Li Y., Bly R.A., Moe K.S., Hannaford B. Towards better surgical instrument segmentation in endoscopic vision: Multi-angle feature aggregation and contour supervision // IEEE Robotics and Automation Letters. 2020. Т. 5, № 4. С. 6639–6646.
8. Зубков А.В., Донская А.Р., Бушенева С.Н. и др. Разработка метода определения доминирующего типа дыхания человека на базе технологий компьютерного зрения, системы захвата движения и машинного обучения // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10, № 4 (39). С. 15–16.
9. Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И., Лосев А.Ю. Оптимизация информационных процессов при подготовке и проведении хирургического вмешательства // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 2 (77). С. 51–58.
10. DICOM PS3.3 2024c. Определения информационных объектов. Sect. A19; Структура набора RT IOD // DICOM Standards Committee. 2024. https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part03/sect_A.19.html (дата обращения 18.06.2024).

11. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Tumanova U.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*. 2018. Т. 126. – С. 1178–1186. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.058>
12. Nemkovskiy G.B., Podurovskaya Yu.L., Balashov I.S., 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. Т. 126. С. 1216–1223. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.063>
13. Schroeder W., Martin K.M., Lorensen W.E. *The visualization toolkit an object-oriented approach to 3D graphics*. 1998. Prentice-Hall, Inc.
14. Сухов А.В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2000. № 4. С. 111–120.
15. Бурый А.С., Сухов А.В. Оптимальное управление сложными техническими комплексами в автоматизированном информационном пространстве // *Автоматика и телемеханика*. 2003. № 8. С. 145–162.
16. Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И., Кузнецов А.Б., Беляков В.К. Информационное обеспечение задач позиционирования хирургического инструмента при эндоскопических вмешательствах // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2023. № 5 (74). С. 10–19.

3D RECONSTRUCTION IN THE DEVELOPMENT OF THE ENDOSCOPIC SURGERY MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM

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

The work is devoted to the study of the features of endoscopic surgery management and the requirements imposed in connection with these features for equipment designed to record the position of the surgical instrument. The paper presents algorithms for displaying and combining 3D models of the patient and surgical equipment in the endoscopic surgery management information system.

The purpose of the work is to illustrate the development of an endoscopic surgery management information system in terms of visualization on a 3D scene of the relative position of the surgical instrument used in neonatal surgery and the patient, considering the characteristics of these types of intervention.

Keywords: neonatal surgery, surgical navigation, CAS systems, IMS, endoscope position control, medical images, endoscopic surgery management information system

For citation: Nemkovskiy G.B. 3D Reconstruction in the Development of the Endoscopic Surgery Management Information System. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 46–54.(In Russ.).

References

1. Karpov O.E., Subbotin S.A., Shishkanov D.V. Ispol'zovanie medicinskih dannyh dlya sozdaniya sistem podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij. Vrach i informacionnye tekhnologii, 2019, no. 2, pp. 11–18. (in Russ.).
2. Lebedev G.S., Fartushnyj E.N., Shaderkin I.A., et al. Sozdanie informacionnoj sistemy podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij na osnove. Zhurnal telemeditsiny i elektronnoho zdravooohraneniya, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 8–16. (in Russ.).
3. Gusev A.V., Sharova D.E. Eticheskie problemy razvitiya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v zdravooohranenii. Obshchestvennoe zdorov'e, 2023, vol. 3, no. 1, pp. 42–50. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2023-3-1-42-50>. (in Russ.).
4. Zhuk D.M., Perfil'ev S.A. CAS sistemy – sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya v hirurgii. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana, 2011, no. 3, P. 6. (in Russ.).
5. Mandel M, Amorim R, Paiva W, Prudente M, Teixeira M.J, de Andrade A.F. 3D preoperative planning in the ER with OsiriX®: when there is no time for neuronavigation. Sensors, 2013, 13 (5), pp. 6477–91.
6. Isakov Y.F., Volodin N.N., Geras'kin A.V. Neonatal'naya hirurgiya. Moscow: Dinastiya Publ., 2011, 680 p. (in Russ.).
7. Qin F., Lin S., Li Y., Bly R.A., Moe K.S., Hannaford B. Towards better surgical instrument segmentation in endoscopic vision: Multi-angle feature aggregation and contour supervision. IEEE Robotics and Automation Letters. 2020. 5(4), pp. 6639–46.
8. Zubkov A.V., Donskaya A.R., Busheneva S.N., et al. Razrabotka metoda opredeleniya dominiruyushchego tipa dyhaniya cheloveka na baze tekhnologij komp'yuternogo zreniya, sistemy zahvata dvizheniya i mashinnogo obucheniya. Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii, 2022, vol. 10, no. 4 (39), pp. 15–16. (in Russ.).
9. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Losev A.Y. Optimizaciya informacionnyh processov pri podgotovke i provedenii hirurgicheskogo vmeshatel'stva. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2024, no. 2 (77), pp. 51–58. (in Russ.).
10. DICOM PS3.3 2024c – Information Object Definitions. Sect A19, RT Structure Set IOD. DICOM Standards Committee, 2024. Available at: https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part03/sect_A.19.html. (Accessed 18 June 2024).

11. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Tumanova U.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*, 2018, vol. 126, pp. 1178–1186. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.058>
12. Nemkovskiy G.B., Podurovskaya Y.L., Balashov I.S., 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. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.063>
13. Schroeder W., Martin K.M., Lorensen W.E. *The visualization toolkit an object-oriented approach to 3D graphics*, 1998, Prentice-Hall, Inc.
14. Suhov A.V. Dinamika informacionnyh potokov v sisteme upravleniya slozhnym tekhnicheskim kompleksom. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2000, no. 4, pp. 111–120. (in Russ.).
15. Buryi A.S., Suhov A.V. Optimal'noe upravlenie slozhnymi tekhnicheskimi kompleksami v avtomatizirovannom informacionnom prostranstve. *Avtomatika i telemekhanika*, 2003, no. 8, pp. 145–162. (in Russ.).
16. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Kuznetsov A.B., Belyakov V.K. Informacionnoe obespechenie zadach pozicionirovaniya hirurgicheskogo instrumenta pri endoskopicheskikh vmeshatel'stvah. *Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya*, 2023, no. 5 (74), pp. 10–19. (in Russ.).

МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА В ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ НЕОНАТАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ. ОБЗОР

Немковский Г.Б., ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД», ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Работа посвящена исследованию особенностей хирургических вмешательств у неонатальных пациентов с использованием эндоскопических техник и требований, предъявляемых к оборудованию, предназначенному для регистрации положения хирургического инструмента. В работе рассмотрены существующее оборудование и методы позиционирования, используемые в хирургической навигации, оценивается их применимость в неонатальной хирургии врождённых пороков развития лёгких и мочевыводящих путей.

Цель исследования – выбор направления разработки технических средств сбора данных, используемых при разработке информационной системы управления эндоскопическим вмешательством для визуализации на трёхмерной сцене взаимного расположения хирургического инструмента и пациента с учётом особенностей проведения указанных видов вмешательства.

Ключевые слова: неонатальная хирургия, интраоперационная навигация, информационная система управления, контроль положения хирургических инструментов, техническое обеспечение информационных систем, CAS-системы.

Цитирование: Немковский Г.Б. Методы позиционирования хирургического инструмента в эндоскопической неонатальной хирургии. Обзор // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 55–64.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием вычислительной техники всё большее распространение в мире получают интеллектуальные системы. В здравоохранении разрабатываются разного рода системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Этот класс систем находит своё применение в ходе оперативных вмешательств, для чего разрабатываются соответствующие базы данных (БД) для учета протоколов, медицинских изображений, относящихся к разным модальностям и инструментальной диагностики, и лабораторных исследований [1]. Созданию национальной системы интеллектуального анализа научных публикаций доказательной медицины, с целью повышения эффективности принятия информированных врачебных решений и мониторинга приоритетных направлений развития превентивной и персонализированной медицины, в последнее время уделяется особое внимание [2]. К основным инструментам и интеллектуальным технологиям в практике медицинских учреждений можно отнести такие направления, как медицинская диагностика и анализ изображений, прогнозная клиниче-

ская и управленческая аналитика, СППВР, интеллектуальный анализ данных, телемедицина и ряд других [3].

К числу интеллектуальных технологий, применяемых в хирургии, относятся автоматизированное проведение вмешательств (RAS, Robo Assisted Surgery), компьютерная хирургия (CAS, от англ. Computer Assisted Surgery), компьютерная симуляция вмешательства, визуально управляемая хирургия, хирургическая навигация (ХН) и другие. Использование интеллектуальных технологий повышает уровень безопасности пациента, снижает риск интраоперационных осложнений и сокращает период реабилитации [4]. Симуляторы, реализованные на основании знаний, накопленных в ходе контролируемых хирургических вмешательств (ХВ), будут применяться для подготовки молодых специалистов при отработке навыков и действий в эндоскопическом формате [5].

Эффективные методы и технологии обработки визуальной информации [6], а также возможности компьютерной графики могут быть решениями технической задачи авто-

матизированного сопровождения работы хирурга в естественной среде и условиях дополненной реальности [7].

В полостной хирургии все большее место занимают малоинвазивные операции с использованием эндоскопических доступов [8]. Одна из целей эндоскопических малоинвазивных вмешательств – уменьшение хирургической травмы, такие методы позволяют как ограничить размеры операционной раны, так и сохранить невредимыми окружающие ткани [9, 10].

Коррекция врождённых пороков развития, проводимая в неонатальном возрасте по возможности выполняется с использованием эндоскопических техник, доказавших свою эффективность [11], но сопровождающихся повышенными интраоперационными рисками. Реализация CAS-систем для неонатальной хирургии требует, в числе прочего, разработки и применения технических средств сбора информации о положении хирургических инструментов, которые учитывали бы специфику проведения вмешательств у неонатальных пациентов.

Настоящее исследование призвано определить технологии, используемые в создании технических средств обеспечения контроля хирургического инструмента (ХИ) и выявление применимости данных технологий для планирования ХВ, навигации или выполнения хирургических процедур у неонатальных пациентов с врождёнными пороками развития лёгких и мочевыводящих путей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интраоперационное информационное сопровождение хирурга, как субъекта управления (СУ) оперативным вмешательством, осуществляемое соответствующими информационными системами (ИС), особенно важно в сложных анатомических областях и клинических ситуациях. Цель сопровождения состоит в том, чтобы СУ при выполнении вмешательства полагался на объективную и максимально полную информацию, генерируемую на этапе предоперационного планирования. Планирование осуществляется на основе 3D визуализации анатомических структур пациента, получаемых в результате обработки данных лучевой диагностики [12].

Предоперационная 3D визуализация, передаваемая в ИС управления ХВ, предоставляет СУ объективную информацию, уведомляющую о положении ХИ относительно существенных или критических анатомических структур пациента. От точности информации о положении ХИ в пространстве и соответствия характеристик информационного потока требованиям информационной системы [13, 14] зависит корректность управляющих действий, реализуемых субъектом управления, или успешность проведения ХВ [15]. В настоящее время в системах ХН применяется ряд технологических решений, обеспечивающих

регистрацию положения ХИ в операционном поле, однако их разнородность позволяет сделать вывод, что универсальное решение, позволяющее определять положение ХИ для разных областей хирургии, в настоящее время еще не найдено.

В настоящее время разработаны и применяются различные навигационные системы (табл. 1), применяемые для различных локализаций хирургических вмешательств. Пациенты раннего возраста требуют повышенного внимания ввиду ограниченности объема полостей и малой возможной амплитуды манипуляций, поэтому операция должна быть выполнена за короткое время максимально аккуратно для сохранения функции органов и тканей, не задействованных в патологическом процессе [16, 17, 18].

Технические средства сбора информации о положении хирургического инструмента, входящие в состав технического обеспечения информационных систем хирургической навигации, реализуют различные физических принципы и подходы – радиологические, акустические и ультразвуковые, магнитные и электромагнитные, оптические, радиочастотные, инерциальные и механические. Также наблюдаются и комбинированные (гибридные) подходы, заключающиеся в применении разнотипных средств сбора информации [39]. Каждый из подходов имеет свои сильные и слабые стороны, а также обладает определёнными характеристиками точности и дополнительными факторами, которые необходимо учитывать при принятии решения о возможности использования при реализации технического обеспечения информационных систем объективизации контроля хирургического инструмента.

Для оценки применимости рассматриваемых технических средств сбора информации определим критерии оценки, характерные для рассматриваемой предметной области. В данном случае, к ним можно отнести:

- точность позиционирования: малые размеры операционного поля требуют определения положения инструмента с высокой точностью;
- помехоустойчивость: стационарные учреждения здравоохранения, оказывающие высокотехнологичную медицинскую помощь оснащены оборудованием, создающим сильные электромагнитные помехи, которые могут приводить к значительному снижению точности позиционирования;
- отсутствие дополнительной лучевой нагрузки на пациента;
- безмаркерное использование;
- применимость в условиях перекрытия поля зрения.

В соответствии с требованием к отсутствию лучевой нагрузки, из рассмотрения исключены широко распространённые методы проведения хирургического вмешательства под контролем компьютерной томографии [40]. Несмотря

Таблица 1

Системы и технологии позиционирования хирургического инструмента

МОДЕЛЬ/МЕТОД	ПРИЛОЖЕНИЕ	ОПИСАНИЕ	ИСТОЧНИК
Системы позиционирования			
Система «Компас»	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Микрохирургия ■ Открытые операции ■ Гибридные операции 	Мобильный комплекс для оказания высокотехнологичной хирургической помощи. Портативная стереотаксическая система позиционирования, интраоперационной визуализации	[19]
Stryker Navigation	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Позвоночник ■ Голеностоп ■ Лор-хирургия 	Предоперационное планирование и интраоперационная ХН. Беспроводная навигация специализированного ХИ со встроенными ИК-излучателями.	[20, 21, 22]
Brainlab VectorVision	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Позвоночник ■ Голеностоп ■ Лор-хирургия ■ Эндопротезирование 	Комплексная трехмерная система навигации для автоматизированных операционных и систем лучевой терапии. Навигация по КТ-сканеру, оптическая, электромагнитная	[23, 24, 25]
Medtronic StealthStation	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Позвоночник ■ Голеностоп ■ Лор-хирургия ■ Эндопротезирование 	Комбинированный (оптический + электромагнитный по выбору СУ) трекинг ХИ. Безмаркерная система для регистрации и позиционирования модели на пациенте	[26, 27]
GE InstaTrak 3500 Plus	<p>Нейрохирургия</p> <p>Лор-хирургия</p>	Комбинированная электромагнитная и оптическая система отслеживания инструмента. Позиционирование данных по одноразовой маске на пациенте	[28–30]
Технологии, использованные при реализации технического обеспечения			
Электромагнитные	<p>Головной мозг</p> <p>Лор-хирургия</p>	Технологии высокой точности. Применяются в комбинированных решениях в сочетании с оптическими методами контроля	[26–33]
Оптические	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Микрохирургия ■ Открытые операции ■ Позвоночник 	Применимы в эндоскопической хирургии при оценке положения видимой части хирургического инструмента.	[26–30, 34]
Механические	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Микрохирургия ■ Открытые операции ■ Гибридные операции 	Стереотаксические системы, предназначенные для операций на головном мозге и суставах	[19, 35, 36]
Лучевые	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Позвоночник ■ Голеностоп ■ Лор-хирургия ■ Эндопротезирование 	Высокоточные методы навигации, основанные на использовании интраоперационного КТ	[37, 38]
Инфракрасное излучение	<ul style="list-style-type: none"> ■ Головной мозг ■ Позвоночник ■ Голеностоп ■ Лор-хирургия 	Отслеживание ХИ с активной частью (инфракрасными излучателями)	[20, 21, 22]
Акустические и радиочастотные	Навигация объектов в помещении	Методы применяются для навигации объектов в помещении. Низкая точность делает неприменимыми в ХН	[41–45]

на то, что данные методы показывают высокие результаты в смежных областях, риски, связанные с их применением в неонатальной хирургии, неоправданно высоки.

Процесс позиционирования при использовании радиочастотных и акустических средств контроля условно можно разделить на два этапа: определение расстояния между источником и приёмником и определение местоположения приёмника относительно источника [41]. Расстояние может быть определено за счёт уровня принимаемого сигнала, угла падения сигнала на поверхность приёмника [42], времени прохождения сигнала от передатчика к приёмнику или разницей во времени прибытия сигнала на разные приёмники.

Для определения положения могут быть использованы различные алгоритмы, такие как триангуляция, трилатерация, дактилоскопическая идентификация, приближение, а также применены дополнительные средства повышения качества позиционирования [43–45]. Устройства и датчики этого класса достаточно просты в эксплуатации и в развёртывании, однако погрешность позиционирования даже в помещении малого объёма для этих методов будет исчисляться десятками миллиметров.

Магнитные методы определения положения объектов основаны на измерении интенсивности переменного или постоянного магнитного поля, создаваемого специально подобранным и настроенным генератором. Изменение интенсивности поля с изменением расстояния между генератором поля и приёмником позволяет говорить о возможности определения их взаимного расположения.

В настоящее время реализованы магнитные системы позиционирования, имеющие погрешность менее 1 мм, однако такая точность достижима только при условии исключения помех в виде сторонних магнитных полей, проводников электрического тока. Ещё одна сильная сторона метода состоит в том, что для реализации нет нужды в прямой видимости между источником поля и приёмником. Вместе с потенциально высокой точностью метода эта особенность позволяет говорить о применимости метода магнитной регистрации в хирургии: точное положение инвазивного инструмента в объёмном пространстве – необходимое условие многих современных хирургических процедур, например – введение катетера в сердце, предъявляющее высокие требования к точности и надёжности позиционирования [31].

Электромагнитные системы, применяемые в хирургической практике в настоящий момент, имеют небольшую зону охвата – как правило, не более 2 метров. В последние годы появилось новое решение для электромагнитного позиционирования: в тело пациента внедряется пассивный приёмник (маркер), генерирующий сигнал, на основе которого определяется присутствие и месторасположе-

ние данного маркера. Чаще всего используют одноосные индукционные приёмники [32]. Электрическая пассивность такого приёмника является дополнительным преимуществом для инвазивного применения. Генераторы электромагнитного поля, как правило, размещают стационарно, с минимальной симметрией. Типичная конфигурация системы детекции содержит одну или несколько групп 2D-излучателей и 1 приёмник.

В настоящее время именно методы электромагнитной детекции положения инструментов являются наиболее распространёнными в хирургической практике [33]. Тем не менее, внедрение магнитных и электромагнитных методов будет затруднено в имеющихся помещениях, поскольку они предъявляют высокие требования к отсутствию помех.

Оптические методы определения положения в пространстве представляют собой совокупность устройств видеорегистрации разного класса (видеокамеры различных диапазонов, стереокамер и прочих) и алгоритмов компьютерного зрения. Оптические методы определения положения могут быть реализованы с помощью следующих подходов: определение положения движущегося объекта, экспонируемого неподвижной камерой и отслеживание движения объекта оптическим сенсором, расположенном на движущемся объекте, относительно неподвижных точек [34].

Также, в зависимости от наличия маркеров, отслеживание может быть маркерным и безмаркерным, реализуемым посредством большого количества камер и специальных программных алгоритмов обработки получаемого видеосигнала.

Примером реализации такой технологии в хирургии является работа [46], где рассматривается решение задачи, связанной с обеспечением оптимальной области визуализации хирургического вмешательства при проведении малоинвазивных операций и предлагается метод позиционирования и слежения за хирургическими инструментами при проведении лапароскопических операций.

Точность и скорость оптических методов вполне достаточна для применения в предметной области. Тем не менее, у метода имеется естественное ограничение, связанное с нахождением отслеживаемого объекта в зоне прямой видимости оптического сенсора.

Инерциальные методы построения технические средства сбора информации основаны на получении показаний микроэлектромеханических (MEMS) датчиков (гироскопов или акселерометров), расположенных на контролируемом объекте [35]. При этом информационная система получает не только данные о положении сенсора, но и угле его наклона. Системы этого класса обладают высокой точностью и устойчивостью к помехам и позволяют осуществлять навигацию в пространстве с большой точностью и малыми

задержками. Применение данного метода требует дополнительных корректировок, поскольку MEMS датчики, применяемые в инерциальных системах, подвержены накоплению ошибок в результате различных шумовых воздействий, влияющих на выходной сигнал датчика [36].

Медицинские решения, реализованные на основании метода инерциального трекинга, могут быть использованы в медицинских роботах-манипуляторах с большим числом степеней свободы, поскольку обладают субмиллиметровой точностью [37].

Механические методы основаны на определении углов отклонения подвижных частей каркаса, к которому привязан объект слежения. Точность и скорость обработки данных такого рода систем зависит от точности датчиков, использованных в конструкции [38], она не подвержена накоплению ошибок, но при этом может отслеживать положение только жёстко связанных с системой объектов, в противном случае перемещение объекта в пространстве не может быть проконтролировано такого рода системой.

Комбинированные методы предусматривают взаимодополняющее или взаимокорректирующее применение вышеперечисленных подходов в каких-либо сочетаниях.

Сводная информация о рассмотренных методах реализации технических средств контроля хирургического инструмента приведена в табл. 2.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные в данном исследовании методы и комплексы позволяют говорить о развитых подходах, приме-

няемых в эндоскопической хирургии. Проведение хирургических вмешательств у неонатальных пациентов возрастом не более 1 месяца существенно отличается от хирургических манипуляций, проводимых с пациентами прочих возрастных групп [11]. Анализ представленных возможностей современных технологий в хирургическом сопровождении операций приводит к выводу о невозможности их рутинного применения в неонатальной хирургии пациентов с врожденными пороками развития внутренних органов по отдельности.

Техническое обеспечение информационных систем и процессов, в части новых технических средства сбора, хранения, передачи и представления информации, а также комплексов технических средств, обеспечивающих функционирование информационных систем и процессов при решении задач навигации в эндоскопической хирургии у неонатальных пациентов, требует создания новых специализированных технических средств, в которых будут применяться комбинированные методы позиционирования. Учитывая предметную область, перспективным направлением развития будет комбинация механических или инерциальных методов контроля с оптическими или электромагнитными. В следующего шага в развитии методики подготовки и проведения хирургического вмешательства рассматривается построение моделирующих комплексов на основе цифровых двойников [47], обеспечивающих виртуальное воспроизведение операционного процесса при подготовке операции, а также в ходе обучения студентов-медиков [48].

Таблица 2

Оценка методов реализации технических средств контроля хирургического инструмента

ГРУППА МЕТОДОВ	АКУСТИЧЕСКИЕ И УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ	РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ	МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ	ОПТИЧЕСКИЕ	РАДИОЧАСТОТНЫЕ	ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ	МЕХАНИЧЕСКИЕ
Погрешность	>10мм	< 1 мм	1 мм	< 1 мм	>10 мм	< 1 мм	< 1 мм
ЭМ помехозащищённость	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Да
Ограничения	Низкая точность	Лучевая нагрузка	Подвержена помехам	Прямая видимость	Низкая точность	Дрифт датчиков	Жесткая связь объекта с каркасом
Используется приёмник или маркер	Да	Нет	Да	Опционально	Да	Нет	Нет

Список использованных источников и литературы

1. Карпов О.Э., Субботин С.А., Шишканов Д.В. Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия врачебных решений // *Врач и информационные технологии*. 2019. № 2. С. 11–18.
2. Лебедев Г.С., Фартушный Э.Н., Шадеркин И.А. Создание информационной системы поддержки принятия врачебных решений на основе // *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2019. Т. 5, № 1. С. 8–16.
3. Гусев А.В., Шарова Д.Е. Этические проблемы развития технологий искусственного интеллекта в здравоохранении // *Общественное здоровье*. 2023. Т. 3, № 1. С. 42–50. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2023-3-1-42-50>.
4. Жук Д.М., Перфильев С.А. CAS системы – системы автоматизированного проектирования в хирургии // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2011. № 3. С. 6.
5. Дубровин В.Н., Егошин А.В., Фурман Я.А., Роженцов А.А., Ерусланов Р.И. Первый опыт применения технологии дополненной реальности на основе 3d-моделирования для интраоперационной навигации при лапароскопической резекции почки // *Медицинский альманах*. 2015. № 2 (37). С. 45–47.
6. Qin F., et al Towards better surgical instrument segmentation in endoscopic vision: Multi-angle feature aggregation and contour supervision // *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2020. Т. 5, № 4. С. 6639–6646.
7. Зубков А.В., Донская А.Р., Бушенева С.Н. и др. Разработка метода определения доминирующего типа дыхания человека на базе технологий компьютерного зрения, системы захвата движения и машинного обучения // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022. Т. 10, № 4 (39). С. 15–16.
8. Maestre-Maderuelo M., et al. Laparoscopic adrenalectomy: the best surgical option // *Cirugía y Cirujanos*. 2013. Т. 81 (3). С. 196–201.
9. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Tumanova U.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*. 2018. Т. 126. С. 1178–1186. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.058>
10. Nemkovskiy G.B., Podurovskaya Yu.L., Balashov I.S., 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. Т. 126. С. 1216–1223. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.063>
11. Исаков Ю.Ф., Володин Н.Н., Гераськин А.В. Неонатальная хирургия. – М.: Династия, 2011. – 680 с.
12. Губарев А.Д., Татьянанин А.В. Автоматизированная диагностика патологий на изображениях органов грудного отдела // *Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий*. 2023. №13. С. 139–148.
13. Бурый А.С., Сухов А.В. Оптимальное управление сложными техническими комплексами в автоматизированном информационном пространстве // *Автоматика и телемеханика*. 2003. № 8. С. 145–162.
14. Сухов А.В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2000. № 4. С. 111–120.
15. Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И., Лосев А.Ю. Оптимизация информационных процессов при подготовке и проведении хирургического вмешательства // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2024. № 2 (77). С. 51–58.
16. Ieiri S., [et al.]. Augmented reality navigation system for laparoscopic splenectomy in children based on preoperative CT image using optical tracking device // *Pediatric Surgery International*. 2012. Т. 28 (4). С. 341–346.
17. Dagnino G., et al. Navigation system for robot-assisted intra-articular lower-limb fracture surgery. // *International journal of computer assisted radiology and surgery*. 2016. Т. 11. С. 1831–1843.
18. Souzaki R., et al. An augmented reality navigation system for pediatric oncologic surgery based on preoperative CT and MRI images // *Journal of Pediatric Surgery*. 2013. Т. 48 (12). С. 2479–2483.
19. Гармашов Ю.А. Медицинская навигация (основы, возможности и перспективы). – СПб.: Изд-во СПбМАПО, 2009. – 16 с.
20. Austin R.E., Antonyshyn O.M. Current applications of 3-D intraoperative navigation in craniomaxillofacial surgery: A retrospective clinical review // *Annals of Plastic Surgery*. 2012. Т. 69, No. 3. С. 271–278.
21. Bergeron M, Leclerc JE. Is image guidance accurate in children sinus surgery? // *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2015. Т. 79, № 4. С. 469–473.
22. Gui H, et al. Image-Guided Surgical Navigation for Removal of Foreign Bodies in the Deep Maxillofacial Region // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013. Т. 71 (9). С. 1563–1571.
23. Gumprecht H.K., Widenka D.C., Lumenta C.B. First Experience with the BrainLab VectorVision Neuronavigation System // *Minimally Invasive Techniques for Neurosurgery: Current Status and Future Perspectives*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 1998. С. 207–213.
24. Gumprecht H.K. [et al.]. BrainLab VectorVision Neuronavigation System: technology and clinical experiences in 131 cases // *Neurosurgery*. 1999. Т. 44. № 1. С. 97–104.

25. Tomakin F. [et al.]. Impact of BrainLab VectorVision InfraredBased Neuronavigation on Surgical Outcomes in Intracranial Meningioma Patients: A Retrospective Study // *Medical Science Monitor*. 2024. Т. 30. С. e944724.
26. Miyazaki R. [et al.]. Surgical navigation system for temporomandibular joint ankylosis in a child: a case report // *Journal of Medical Case Reports*. 2021. Т. 15. С. 1–5.
27. Bertalanffy A., et al. Intraventricular meningiomas: A report of 16 cases // *Neurosurgical review*. 2006. Т. 29. С. 30–35.
28. Irugu D. [et al.]. Establishing a temporal bone laboratory in teaching institutes to train future otorhinolaryngologists and fundamentals of temporal bone laboratory: considerations and requirements // *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*. 2016. № 68. С. 451–455.
29. Soteriou E. [et al.]. Prospects and limitations of different registration modalities in electromagnetic ENT navigation // *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2016. № 273. С. 3979–3986.
30. Manarey C.R., Anand V.K. Radiation dosimetry of the fluoroCAT scan for real-time endoscopic sinus surgery // *Otolaryngology – Head and Neck Surgery*. 2006. Т. 135. № 3. С. 409–412.
31. Osadchy D., Govary A. Detection of metal disturbance // Патент № 6147480, США, G01R 19/00, Biosense, 2000.
32. Souzaki R. et al. Preoperative surgical simulation of laparoscopic adrenalectomy for neuroblastoma using a three-dimensional printed model based on preoperative CT images // *Journal of pediatric surgery*. 2015. Т. 50. № 12. С. 2112–2115.
33. Давыдов Д.В., Левченко О.В., Дробышев А.Ю., Михайлюков В.М. Безрамная навигация в хирургическом лечении посттравматических деформаций и дефектов глазницы // *Практическая медицина*. 2012. № 4–2 (59). С. 187–191.
34. Захаров А.А., Тужилкин А.Ю., Веденин А.С. Алгоритм определения положения и ориентации трехмерных объектов по видеоизображениям на основе вероятностного подхода // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11–8. С. 1683–1687.
35. Кармадонов В.Ю. Методы отслеживания положения в виртуальной реальности // *Academy*. 2019. №12 (51). С. 19 – 22.
36. Литвин М.А. [и др.]. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // *Информационные процессы*. 2014. Т. 14, № 4. С. 326–339.
37. Богданова Ю.В., Гуськов А.М. Численное моделирование задачи позиционирования инструмента хирургического Робота-Манипулятора при движении по заданной траектории // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2013. № 6. С. 181–210.
38. Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И., Кузнецов А.Б., Беляков В.К. Информационное обеспечение задач позиционирования хирургического инструмента при эндоскопических вмешательствах // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2023. № 5 (74). С. 10–19.
39. Welch G., Foxlin E. Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal // *Computer Graphics and Applications*. 2002. Т. 22, № 6. С. 24–38.
40. Буровик И.А. и др. Робот-ассистированные чрескожные вмешательства под КТ-контролем: первый опыт // *Медицинская визуализация*. 2019. Т. 23, № 2. С. 27–35.
41. Брагин Д.С., Поспелова И.В., Черепанова И.В., Серебрякова В.Н. Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении // *Изв. вузов России. Радиоэлектроника*. 2020. Т. 23, № 3. С. 62–79.
42. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени // *Вестн. СГУГиТ*. 2017. Т. 22, № 1. С. 170–177.
43. Brena R. F. [et al.]. Evolution of indoor positioning technologies: A survey // *Journal of Sensors*. 2017. № 1. С. 2630413.
44. Davidson P., Piché R. A survey of selected indoor positioning methods for smartphones // *IEEE Communications surveys & tutorials*. 2016. Т. 19, № 2. С. 1347–1370.
45. Satan A., Toth Z. Development of Bluetooth based indoor positioning application // *2018 IEEE International conference on future IoT technologies (Future IoT)*. 2018. С. 1–6.
46. Шестова Е.А, Синявская Е.Д., Финаев В.И. и др. Разработка метода позиционирования и слежения за хирургическими инструментами при проведении лапароскопических операций // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2016. № 5 (178). С. 30–40.
47. 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.
48. Козлов Ю.А. Метавселенная – новая реальность в хирургии. Обзор литературы // *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2024. Т. 14, № 1. С. 69–81.

METHODS OF POSITIONING A SURGICAL INSTRUMENT IN ENDOSCOPIC NEONATAL SURGERY. REVIEW

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

The work is devoted to the study of the features of neonatal surgery using endoscopic techniques and the requirements imposed in connection with these features for equipment intended for recording the position of the surgical instrument. The paper reviews positioning methods used in surgical navigation and evaluates their applicability in neonatal surgery for congenital malformations of the lungs and urinary tract.

The purpose of the work is to select the direction for the development of technical means for collecting, storing, transmitting and presenting information used in the development of an information system for managing endoscopic intervention in terms of visualization on a three-dimensional scene of the relative position of the surgical instrument used in neonatal surgery and the patient, considering the peculiarities of the procedure specified types of intervention.

Keywords: neonatal surgery, intraoperative navigation, management information system, surgery instrument position control, technical support of information systems, CAS-systems.

For citation: Nemkovskiy G.B. Methods of positioning a surgical instrument in endoscopic neonatal surgery. Review. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 55–64. (In Russ.).

References

1. Karpov O.E., Subbotin S.A., Shishkanov D.V. Ispol'zovanie medicinskih dannyh dlya sozdaniya sistem podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij. Vrach i informacionnye tekhnologii, 2019, no. 2, pp. 11–18. (In Russ).
2. Lebedev G.S. Fartushnyj E.N., Shaderkin I.A. Sozdanie informacionnoj sistemy podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij na osnove. Zhurnal telemeditsiny i elektronnoho zdravoohraneniya, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 8–16. (In Russ).
3. Gusev A.V., Sharova D.E. Eticheskie problemy razvitiya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v zdravoohraneni. Obshchestvennoe zdorov'e, 2023, vol. 3, no. 1, pp. 42–50. (In Russ).
4. Zhuk D.M., Perfil'ev S.A. CAS sistemy – sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya v hirurgii. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana, 2011, no. 3, P. 6. (In Russ).
5. Dubrovin V. N., et al. Pervyj opyt primeneniya tekhnologii dopolnnoy real'nosti na osnove 3d-modelirovaniya dlya intraoperacionnoj navigacii pri laparoskopicheskoj rezekcii pochki. Medicinskij al'manah, 2015, no. 2 (37), pp. 45–47. (In Russ).
6. Qin F., et al. Towards better surgical instrument segmentation in endoscopic vision: Multi-angle feature aggregation and contour supervision. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, vol. 5, no. 4, pp. 6639–46.
7. Zubkov A.V., et al. Razrabotka metoda opredeleniya dominiruyushchego tipa dyhaniya cheloveka na baze tekhnologij komp'yuternogo zreniya, sistemy zahvata dvizheniya i mashinnogo obucheniya. Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii, 2022, vol. 10, no. 4 (39). pp. 15–16. (In Russ).
8. Maestre-Maderuelo M., et al. Laparoscopic adrenalectomy: the best surgical option. Cirugía y Cirujanos, 2013, vol. 81, no. 3, pp. 196–201.
9. Nemkovskiy G.B., 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, 2018, vol. 126, pp. 1178–1186.
10. Nemkovskiy G.B., 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. Isakov Yu.F., Volodin N.N., Geras'kin A.V. Neonatal'naya hirurgiya, Moscow: Dinastiya Publ., 2011, 680 p. (In Russ).

12. Gubarev A.D., Tat'yanin A.V. Avtomatizirovannaya diagnostika patologij na izobrazheniyah organov grudnogo otdela. *Sovremennye problemy fiziki, biofiziki i infokommunikacionnyh tekhnologij*, 2023, no. 13, pp. 139–148. (In Russ).
13. Buryi A.S., Suhov A.V. Optimal'noe upravlenie slozhnymi tekhnicheskimi kompleksami v avtomatizirovannom informacionnom prostranstve. *Avtomatika i telemekhanika*, 2003, no. 8, pp. 145–162. (In Russ).
14. Suhov A.V. Dinamika informacionnyh potokov v sisteme upravleniya slozhnym tekhnicheskim kompleksom. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2000, no. 4, pp. 111–120. (In Russ).
15. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Losev A.Yu. Optimizaciya informacionnyh processov pri podgotovke i provedenii hirurgicheskogo vmeshatel'stva. *Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya*, 2024, no. 2 (77), pp. 51–58. (In Russ).
16. Ieiri S., et al. Augmented reality navigation system for laparoscopic splenectomy in children based on preoperative CT image using optical tracking device. *Pediatric Surgery International*, 2012, vol. 28 (4), pp. 341–346.
17. Dagnino G., et al. Navigation system for robot-assisted intra-articular lower-limb fracture surgery. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 2016, vol. 11, pp. 1831–1843.
18. Souzaki R., et al. An augmented reality navigation system for pediatric oncologic surgery based on preoperative CT and MRI images. *Journal of Pediatric Surgery*, 2013, vol. 48 (12), pp. 2479–2483.
19. Garmashov Y.A. *Medicinskaya navigaciya (osnovy, vozmozhnosti i perspektivy)*, Saint-Petersburg: SPBMAPO Publ., 2009, 16p. (In Russ).
20. Austin R.E., Antonyshyn O.M. Current applications of 3-D intraoperative navigation in craniomaxillofacial surgery: A retrospective clinical review. *Annal Plastic Surgery*, 2012, vol. 69, no. 3, pp. 271–278.
21. Bergeron M., Leclerc J.E. Is image guidance accurate in children sinus surgery? *Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 2015, 79 (4), pp. 469–473.
22. Gui H., et al. Image-Guided Surgical Navigation for Removal of Foreign Bodies in the Deep Maxillofacial Region. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2013, vol. 71 (9), pp. 1563–1571.
23. Gumprecht H.K., Widenka D.C., Lumenta C.B. First Experience with the BrainLab VectorVision Neuronavigation System. *Minimally Invasive Techniques for Neurosurgery: Current Status and Future Perspectives*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998, pp. 207–213.
24. Gumprecht H.K., et al. BrainLab VectorVision Neuronavigation System: technology and clinical experiences in 131 cases. *Neurosurgery*, 1999, vol. 44, no. 1, pp. 97–104.
25. Tomakin F., et al. Impact of BrainLab VectorVision InfraredBased Neuronavigation on Surgical Outcomes in Intracranial Meningioma Patients: A Retrospective Study. *Medical Science Monitor*, 2024, vol. 30, Art. e944724.
26. Miyazaki R., et al. Surgical navigation system for temporomandibular joint ankylosis in a child: a case report. *Journal of Medical Case Reports*, 2021, vol. 15, pp. 1–5.
27. Bertalanffy A., et al. Intraventricular meningiomas: A report of 16 cases. *Neurosurgical review*, 2006, vol. 29, pp. 30–35.
28. Irugu D., et al. Establishing a temporal bone laboratory in teaching institutes to train future otorhinolaryngologists and fundamentals of temporal bone laboratory: considerations and requirements. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, 2016, no. 68, pp. 451–455.
29. Soteriou E., et al. Prospects and limitations of different registration modalities in electromagnetic ENT navigation. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 2016, no. 273, pp. 3979–86.
30. Manarey C.R., Anand V.K. Radiation dosimetry of the fluoroCAT scan for real-time endoscopic sinus surgery. *Otolaryngology – Head and Neck Surgery*, 2006, vol. 135, no. 3, pp. 409–412.
31. Osadchy D., Govary A., to Biosense, Inc. Detection of metal disturbance. Patent 6,147,480. U.S. C1. 324–67.000.
32. Souzaki R., et al. Preoperative surgical simulation of laparoscopic adrenalectomy for neuroblastoma using a three-dimensional printed model based on preoperative CT images. *Journal of Pediatric Surgery*, 2015, vol. 50, no. 12, pp. 2112–2115.
33. Davydov D.V., Levchenko O.V., Drobyshev A.Y., Mihajlyukov V.M. Bezramnaya navigaciya v hirurgicheskom lechenii posttravmaticheskikh deformacij i defektov glaznicy. *Prakticheskaya medicina*, 2012, no. 4–2 (59), pp. 187–191. (In Russ).
34. Zaharov A.A., Tuzhilkin A.Y., Vedenin A.S. Algoritm opredeleniya polozheniya i orientacii trekhmernyh ob"ektov po videoizobrazheniyam na osnove veroyatnostnogo podhoda. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. № 11–8, pp. 1683–1687. (In Russ).
35. Karmadonov V.Y. Metody otslezhivaniya polozheniya v virtual'noj real'nosti. *Academy*, 2019, no.12 (51), pp. 19–22. (In Russ).
36. Litvin M.A., et al. Tipy oshibok v inercial'nyh navigacionnyh sistemah i metody ih approksimacii. *Informacionnye process*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 326–339. (In Russ).
37. Bogdanova Y. V., Gus'kov A.M. CHislennoe modelirovanie zadachi pozicionirovaniya instrumenta hirurgicheskogo Robota-Manipulyatora pri dvizhenii po zadannoj traektorii. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N. E. Baumana*, 2013, no. 6, pp. 181–210. (In Russ).

38. Nemkovskiy G.B., et al. Informacionnoe obespechenie zadach pozicionirovaniya hirurgicheskogo instrumenta pri endoskopicheskikh vmeshatel'stvah. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, no. 5 (74), pp. 10–19. (In Russ).
39. Welch G., Foxlin E. Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal. Computer Graphics and Applications, 2002, vol. 22, no. 6. pp. 24–38.
40. Burovik I.A., et al. Robot-assistirovannye chreskozhnnye vmeshatel'stva pod KT-kontrol'em: pervyj opyt. Medicinskaya vizualizaciya, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 27–35. (In Russ).
41. Bragin D. S., et al. Radiochastotnye tekhnologii lokal'nogo pozicionirovaniya v zdavoohranenii. Izv. vuzov Rossii. Radioelektronika, 2020, vol. 23, no. 3, pp. 62–79. (In Russ).
42. Vahrusheva A.A. Tekhnologii pozicionirovaniya v rezhime real'nogo vremeni. Vestn. SGUGiT, 2017, vol. 22, no 1, pp. 170–177. (In Russ).
43. Brena R. F., et al. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. Journal of Sensors, 2017, vol. 1, Art. ID 2630413.
44. Davidson P., Piché R. A survey of selected indoor positioning methods for smartphones. IEEE Communications surveys & tutorials, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 1347–1370.
45. Satan A., Toth Z. Development of Bluetooth based indoor positioning application. 2018 IEEE International conference on future IoT technologies (Future IoT), 2018, pp. 1–6.
46. Shestova E. A., et al. Razrabotka metoda pozicionirovaniya i slezheniya za hirurgicheskimi instrumentami pri provedenii laparoskopicheskikh operacij. Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2016, no. 5(178), pp. 30–40. (In Russ).
47. 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.
48. Kozlov Y.A. Metavselennaya – novaya real'nost' v hirurgii. Obzor literatury. Rossijskij vestnik detskoj hirurgii, anesteziologii i reanimatologii, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 69–81.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СФОРМИРОВАННОСТИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КОМАНД

Сухов А.В., д-р техн. наук, профессор, главный специалист Российского института стандартизации

Губанова В.А., скрам-мастер ГК «Иннотех», г. Москва

Уральсков В.А., канд. тех. наук, старший научный сотрудник Военной академии ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого Минобороны России, г. Балашиха

Фотюк В.Ю., старший научный сотрудник, Главный штаб Ракетных войск стратегического назначения Российской Федерации, Московская обл.

В статье рассмотрен вопрос оценки эффективности самоорганизующейся или самоуправляемой команды на всех этапах ее жизненного цикла. Целью работы является анализ эффективности метода Scrum для управления проектами и командами и его оптимизация на основе информационного подхода, использующего энтропию покрытия. Предложен порядок определения количественных и качественных показателей эффективности с учетом их изменения во времени, характеризуемого энтропией покрытия. Предложен математический аппарат независимой оценки сотрудников самоорганизующейся команды, рассмотрена модель управления командой с этапами с учетом отрицательной обратной связи. Рассмотрены этапы жизненного цикла команды с учетом синергии и вклад энтропии в анализ самоорганизующейся команды под руководством скрам-мастера.

Ключевые слова: формирование самоорганизующейся команды; эффективность команды; оценка работы коллектива (команды), энтропия покрытия.

Цитирование: Сухов А.В., Губанова В.А., Уральсков В.А., Фотюк В.Ю. Информационная оценка степени формирования самоорганизующейся команды // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 65–71.

ВВЕДЕНИЕ

Современная наука об управлении организационными системами в узком смысле решает задачу обеспечения эффективной совместной работы большого числа людей.

При строго регламентированных процессах деятельности (производство, транспорт, образование, здравоохранение и т.д.) задача управления может быть решена с помощью регламентов и инструкций. Однако часто возникают ситуации, когда необходимо организовать работу коллектива не имея определенного алгоритма достижения цели (решение творческих задач). Как организовать набор людей в команду? Как упорядочить их работу? Как оценивать результаты их деятельности? Каким законам подчиняются процессы, происходящие в коллективе? Как влиять на команду, повышать ее эффективность? Это только часть вопросов, которые решаются в ходе формирования про-

ектных междисциплинарных команд, призванных оптимизировать работу над проектом, улучшить качество и скорость выполнения проекта в целом [1].

Управление проектами широко применяется в современном бизнесе, в задачах технико-экономического анализа сложных организационно-технических систем (ОТС) [2, 3] и позволяет эффективно расходовать ресурсы, координировать работу проектных команд (коллективов, т.е. организационных систем), используя различные методы, включая класс задач дискретной оптимизации на основе метода сетевого программирования [4], метод сценарного программно-целевого управления [5], методы экспертного оценивания [6, 7], в том числе и с учетом степени согласованности мнений экспертов [8, 9] и другие.

В ряде исследовательских задач рациональным подходом является применение энтропийных методов моделиро-

вания [10, 11]. Энтропия представляет собой универсальный параметр, который позволяет объединить в единое целое процессы различной природы, поэтому его применение является целесообразным для анализа сложных ОТС. Развитием энтропийных методов является метод энтропии покрытия, позволяющий решать задачи оптимизации, сравнения, выбора уровней информационных ресурсов в прикладных ОТС [12, 13].

Одним из перспективных направлений в организации работы над проектами выступают методики Waterfall и Agile [14]. В Waterfall строго соблюдают очерёдность этапов и их сроки, а во второй - процессы можно вести параллельно. Технология Scrum¹ объединяет в себе элементы классического процесса и идеи гибкого подхода к управлению проектами. В итоге удалось получить очень сбалансированное сочетание гибкости и структурированности процессов управления проектными командами.

Командная работа является критически важным навыком в сфере информационных технологий (ИТ) и разработки программного обеспечения для целей командной итеративной разработки программного обеспечения [15]. Собрать и в сжатые сроки подготовить действующую проектную команду, способную выдавать эффективные результаты в ключевых отраслях экономики России, например, в нефтегазовой [16], обеспечивающей свыше 18% ВВП РФ (данные за 2023 г.)², является актуальной задачей в условиях санкционного давления.

Технология Scrum выступает в роли интегратора, объединяющих на основе интеллектуальных информационно-аналитических систем, персонал, технологии и ресурсы производственных компаний в единый высокоэффективный проект [17].

В команде, которая работает по Scrum, у каждого участника своя роль, а работа над продуктом идёт итерациями. Например, дизайнеры делают первый вариант сайта и представляют его заказчику, затем вносят правки и создают следующую версию – и так до тех пор, пока результат не устроит все заинтересованные стороны. Проектная команда или её группы могут самоорганизовываться в соответствии с точностью информации своих членов, тем самым способствуя развитию коллективного интеллекта [18] и получению новых знаний.

Целью настоящего исследования является анализ эффективности метода Scrum для управления проектами и командами и его оптимизация на основе информационного

¹Scrum – организационная структура, которая помогает людям, командам и организациям создавать ценность с помощью адаптивных решений комплексных проблем.

² Полный аналитический обзор отрасли: Нефть и газ. [Электронный ресурс]. URL: <https://rencredit.ru/articles/invest-analitics/polnyy-analitcheskiy-obzor-otrasli-neft-i-gaz/> (дата обращения 14.07.2024).

подхода, использующего энтропию покрытия. Энтропия покрытия, с одной стороны, позволяет оценить эффективность метода Scrum и, с другой стороны, позволяет оптимизировать процессы, способствующие лучшей организованности команды.

ОСНОВНОЙ РЕЗУЛЬТАТ

В общем случае руководство организацией (подразделением или командой) можно представить как замкнутый циклический процесс, состоящий из следующих функций: исследование, метрики, выводы, инструменты (см. рис. 1).

Для проведения данной работы можно использовать Руководство по SCRUM [19] в котором описаны все перечисленные процессы.

Исследование является первым шагом этого процесса и включает в себя:

- Исследование индивидуальных показателей членов команды на основе анкетирования и индивидуальной работы, в ходе чего определяются:
 - знание функциональных обязанностей и требований руководства;
 - уровень компетентности и опытности членов команды;
 - морально-психологические особенности участников;
 - психологический портрет личности;
 - способность участников работать в кризисных ситуациях, стрессоустойчивость;
 - нацеленность на достижение желаемого результата (цели проекта).

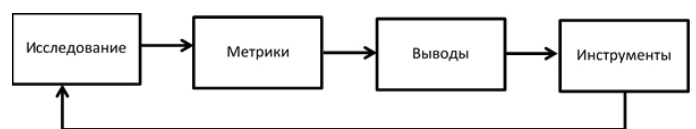


Рис. 1. Модель руководства организацией (командой)

- Исследование слаженности (сплоченности) команды:
 - время с момента создания;
 - гендерный состав команды;
 - степень сплоченности (на основе диагностических опросов);
 - умение совместно преодолевать трудности, взаимоотношения участников команды.

Таким образом, проведя весь комплекс мероприятий по исследованию команды мы можем перейти ко второму этапу (Метрики, рис. 2) и определить ее эффективность.

Очевидно, что эффективность команды будет зависеть от индивидуальных качеств членов команды, коэффициента синергии, характеризующем организационную структуру и слаженность команды (рис. 2). При этом очевидно, что результаты работы единиц (developer по Scrum – разработка по Scrum) одинаковы, а различия начинаются лишь при возникновении так называемого синергетического эффекта, при котором разработчики под руководством Scrum-мастера понимают цели и задачи проекта и это позитивно влияет на конечный результат. Корректировка выполнения задачи, проводится после проведения еженедельного или этапного совещания самоорганизующейся команды, на котором вносятся коррективы в выполнение спринта (задачи) на данном этапе выполнения общей работы. Вмешательство руководства или владельца продукта (проекта), который заказан команде требуется если результаты выполнения спринта отличаются от тех целей, на которые была нацелена команда. Представленный ниже математический аппарат позволяет не вербально, а количественно оценить состояние (сделать выводы) о готовности и способности самоорганизующейся команды к выполнению проектных задач.

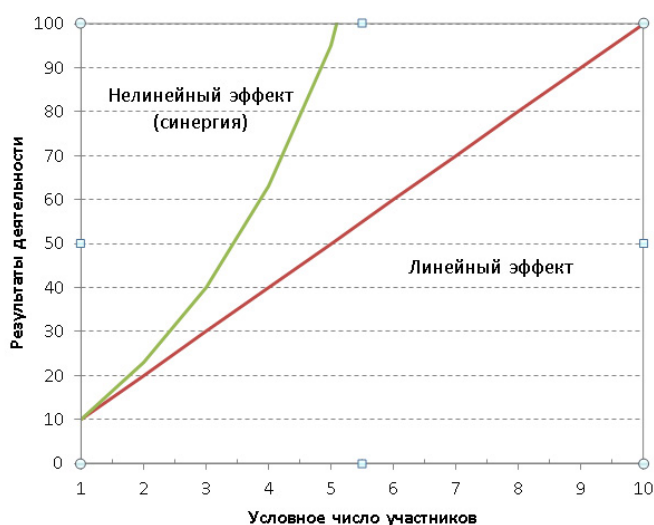


Рис. 2. Синергетический эффект деятельности команды

Кроме того, эффективность команды будет изменяться со временем [20]. Это характеризует процесс эволюции системы (см. рис. 3)

На начальном этапе, когда индивидуальные цели и желания подчинены общему делу идет процесс повышения индивидуального мастерства и слаженности команды, что в свою очередь ведет к росту эффективности (участок А – этап создания и роста). Далее наступает процесс насыщения, все показатели системы приближаются к своему максимуму и в течение времени остаются неизменными (участок Б – этап устойчивой системы).

Через некоторое время у участников команды интерес к делу начинает снижаться, с ростом личной компетентности и подготовки возрастают и личные амбиции, что негативно сказывается на слаженности коллектива, взаимоотношениях в нем, коэффициент синергии начинает снижаться. В жизненном цикле системы начинается этап саморазрушения (участок В). Нормировка эффективности возможна при этом в относительных величинах [7].

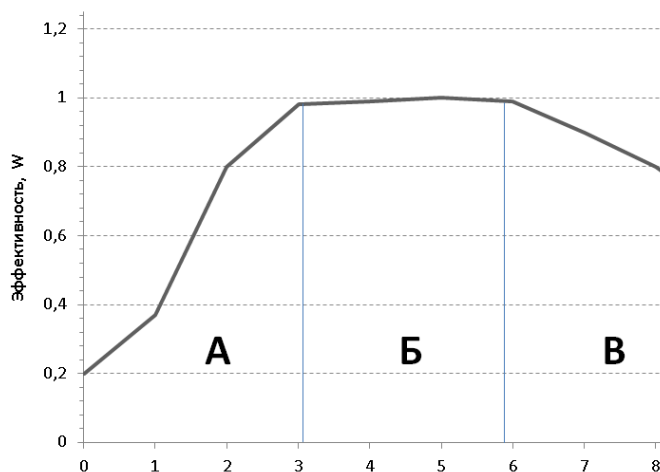


Рис. 3. Эффективность (эволюция) команды во времени

Показатель, характеризующий данные процессы или меру хаоса в команде, называется энтропия (H(t)). Таким образом эффективность команды можно определить по следующему выражению:

$$W_k = \frac{\mu \times \sum_{i=1}^n I_i}{1 + H(t)}, \quad (1)$$

где

W_k – эффективность команды;

I_i – показатель индивидуальных качеств членов команды;

μ – коэффициент синергии;

$H(t)$ – энтропия покрытия.

В соответствии со свойством аддитивности [12] энтропия покрытия будет определяться по формуле следующим образом:

$$H(t) = H_{пл} + H_v, \quad (2)$$

где $H_{пл}$ – энтропия покрытия планирования/реализации;

H_v – энтропия покрытия негативной динамики;

Энтропия покрытия/реализации позволяет учитывать влияние негативных факторов возникающих в ходе реализации планов работы команды:

$$H_{пл} = \log\left(\frac{M_{пл}}{R_{реал}}\right), \tag{3}$$

а энтропия покрытия негативной динамики учитывает изменения, проходящие в команде (системе) с течением времени, в том числе с учетом этапов жизненного цикла системы:

$$H_v = \log(M_{нд}), \tag{4}$$

где $M_{нд}$ – показатель негативной динамики.

При этом:

$$M_{нд} = 1 + \sum_{i=1}^{T_{дн}} v(\Delta t_i), \tag{5}$$

где $v(\Delta t_i)$ – ипсилон-функция:

$$v(\Delta t_i) = \begin{cases} K_{нд i} - K_{нд i-1} + 1, & \Delta_{нд} \geq 0 \\ 0, & \Delta_{нд} < 0 \end{cases}. \tag{6}$$

На основе полученной информации можно формулировать выводы о работе команды [20] и определить меры по ее совершенствованию.

Так если мы видим снижение индивидуальных показателей у кого-то из членов команды (1), необходимо организовать индивидуальную работу с ним, разобраться в причинах снижения деловой активности. Причины могут быть как личные (состояние здоровья, самочувствие, личные проблемы и т.д.) так и быть следствием конфликтов внутри коллектива.

Сложнее решать проблемы, связанные с взаимоотношениями внутри команды, ее слаженностью и сплоченностью, когда вроде бы все работают с полной самоотдачей, а результата деятельности нет.

Пример работы двух команд показан на рис. 4, на котором продемонстрирована слаженная работа команды 1 и неслаженная работа команды 2.

В таком случае необходимо разобраться насколько владелец продукта (Product Owner по Scrum) и Scrum-мастер справляются со своими обязанностями, как проводятся спринты разных этапов (еженедельные, этапные, квартальные и т.д.) и каковы их результаты. Инструментами по результатам таких выводов могут быть коллективные тренинги команды, определение дополнительных мер по мотивации членов команды. Кроме того, понимая этапы эволюции системы важно вовремя определить, когда команда подойдет к этапу саморазрушения (рис. 3) и ее эффектив-

ность, в этом случае необходимо принимать кадровые решения, создавая новую команду.

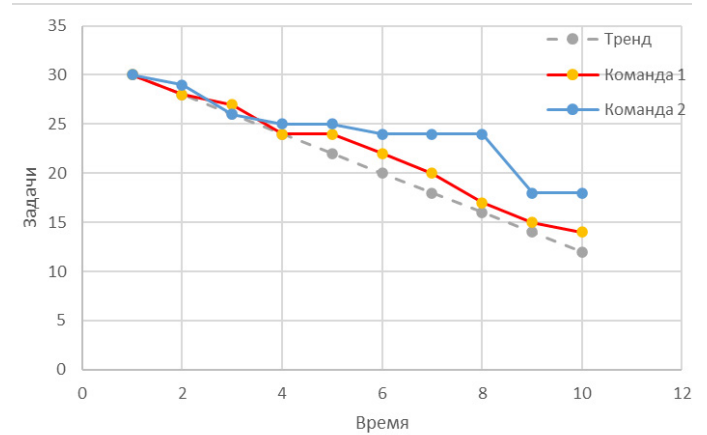


Рис. 4. Пример слаженной работы команды 1 и неслаженной работы команды 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование методологии AGILE и SCRUM-метода при проектном управлении разработкой и внедрением цифровой платформы позволит обеспечить:

- повышение скорости разработки и реализации проектов;
- постоянный контроль хода реализации проекта и своевременную его корректировку;
- гибкое управление процессом проектирования в условиях ресурсных ограничений, за счет перераспределения и выявления приоритетных задач;
- разработку гарантированно-востребованных продуктов и цифровых сервисов с необходимыми функциональными и пользовательскими требованиями.

Для анализа эффективности метода Scrum по управления проектами и командами и его оптимизации применён информационный подхода, использующий энтропию покрытия, которая позволила оценить эффективность метода Scrum, а также обеспечила оптимизацию процессов в целях лучшей организованности команды.

Список использованных источников и литературы

1. Теслюк В.С., Шаманин А.Ю. Влияние системной инженерии на развитие проекта на примере очень малых рабочих команд // *International Journal of Open Information Technologies*. 2023. Т. 11, № 8. С. 64–72.
2. Сухов А.В., Бурый А.С., Пискунов А.В. Инновационный инструментарий использования энтропии покрытия для информационного анализа инвестиционных рисков предприятия // *Транспортное дело России*. 2011. № 10. С. 107–109.
3. Сухов А.В., Конюшев В.В. Цифровая полиция как эргатическая система, функционирующая в цифровой экосистеме // *Правовая информатика*. 2021. № 2. С. 28–39.
4. Бурков В.Н., Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами // *Управление большими системами: сборник трудов*. 2010. № 30–1. С. 40–61.
5. Кульба В.В., Чернов И.В., Шелков М.Б. Сценарный анализ эффективности программно-целевых методов управления социально-экономическими системами // *Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право*. 2009. № 18. С. 9–26.
6. Демидова Л.А., Пылькин А.Н. Интеллектуальные методы принятия решений на основе данных группового экспертного оценивания. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 238 с.
7. Рамеев О.А. Экспертные методы и их применение. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 220 с.
8. Гельруд Я.Д., Кибалов Е.Б. Крупномасштабные инвестиционные проекты: проблема групповой экспертной оценки сравнительной эффективности // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. 2020. Т. 14, № 1. С. 71–79.
9. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий. – М.: Горячая линия-Телеком, 2019. – 160 с.
10. Канаев А.К., Опарин Е.В., Опарина Е.В. Обеспечение информационной безопасности системы тактовой сетевой синхронизации на основе ее энтропийного анализа // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2022. Т. 19, № 3. С. 505–514.
11. Дубнов Ю.А. Энтропийное оценивание в задачах классификации // *Автоматика и телемеханика*. 2019. № 3. С. 138–151.
12. Сухов А.В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2000. № 4. С. 111–120.
13. Информационный ресурс в общих технических требованиях к информационно-коммуникационной технологии «Цифровая полиция» / А.В. Сухов, П.С. Величко, В.В. Конюшев, А.И. Левин // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2022. № 3 (67). С. 56–68.
14. Ткаченко И.Н., Сивокоз К.К. Использование гибких технологий Agile и Scrum для управления стейкхолдерами проектов // *Управленец*. 2017. №4 (68). С. 85–95.
15. Karabiyik T., Jaiswal A., Thomas P., J. Magana A. Understanding the interactions between the scrum master and the development team: A game-theoretic approach // *Mathematics*. 2020. Т. 8, № 9. С. 1553.
16. Зиннатуллин А.А., Мусина Д.Р. Применение scrum-метода для снижения рисков в проектах разработки нефтегазового оборудования // *Вестник экономики и менеджмента*. 2019. № 1. С. 26–30.
17. Боев А.Г., Воронин С.И. Использование SCRUM-метода реализации при внедрении цифровой платформы на промышленном предприятии // *Организатор производства*. 2019. Т. 27, № 2. С. 16–26.
18. Kurvers R.H., Wolf M., Naguib M., Krause J. Self-organized flexible leadership promotes collective intelligence in human groups // *Royal Society open science*. 2015. 2 (12). P. 150222.
19. Schwaber K., Sutherland J. The scrum guide the definitive guide to scrum: The rules of the game // *SCRUM Org.* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100> (дата обращения 29.06.2024).
20. Рамеев О.А. Основы теории принятия решений в организационных системах управления. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 288 с.

INFORMATION ASSESSMENT OF THE DEGREE OF FORMATION FOR SELF-ORGANIZING TEAMS

Sukhov A.V., professor, doctor of technical sciences, Russian Standardization Institute, Moscow

Gubanova V.A., Scrum Master, TI Innotech, Moscow

Uralskov V.A., Ph.D. of technical sciences, Senior Researcher, Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Balashikha, Moscow region

Fotyuk V.Y., Senior Researcher, Main Headquarters Strategic Missile Forces, Moscow region

The article considers the issue of evaluating the effectiveness of a self-organizing or self-managed team at all stages of its life cycle. The purpose of the work is to analyze the effectiveness of the Scrum method for project and team management and optimize it based on an information approach using the entropy of coverage. The procedure for determining quantitative and qualitative performance indicators, taking into account their changes over time, characterized by the entropy of coverage, is proposed. A mathematical apparatus for the independent evaluation of employees of a self-organizing team is proposed, a team management model with stages is considered, taking into account negative feedback. The stages of the team's life cycle are considered, taking into account synergy and the contribution of entropy to the analysis of a self-organizing team under the guidance of a scrum master.

Keywords: self-organized team, effectivity of team, test results workend team, covering entropy.

For citation: Suhov A.V., Gubanova V.A., Uralskov V.A., Fotyuk V.Y. Information Assessment of the Degree of Formation for Self-organizing Teams. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation, 2024; 4 (79): 65–71. (In Russ.).

References

1. Teslyuk V.S., Shamanin A.Y. Vliyanie sistemnoj inzhenerii na razvitie proekta na primere ochen' malyh rabochih komand. International Journal of Open Information Technologies, 2023, vol. 11, no. 8, pp. 64–72.
2. Suhov A.V., Buryi A.S., Piskunov A.V. Innovacionnyj instrumentarij ispol'zovaniya entropii pokrytiya dlya informacionnogo analiza investicionnyh riskov predpriyatiya. Transportnoe delo Rossii, 2011, no. 10, pp. 107–109.
3. Suhov A.V., Konyushev V.V. Cifrovaya policiya kak ergaticheskaya sistema, funkcioniruyushchaya v cifrovoj ekosisteme. Pravovaya informatika, 2021, no. 2, pp. 28–39.
4. Burkov V.N., Burkova I.V. Metod setevogo programmirovaniya v zadachah upravleniya proektami. Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov, 2010, no. 30–1, pp. 40–61.
5. Kul'ba V.V., Chernov I.V., Shelkov M.B. Scenarnyj analiz effektivnosti programmno-celevykh metodov upravleniya social'no-ekonomicheskimi sistemami. Vestnik RGGU. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo, 2009, no. 18, pp. 9–26.
6. Demidova L.A., Pyl'kin A.N. Intellektual'nye metody prinyatiya reshenij na osnove dannyh gruppovogo ekspertnogo ocenivaniya. Moscow: «Goryachaya liniya – Telekom» Publ., 2017. 238 p.
7. Rameev O.A. Ekspertnye metody i ih primenenie. Moscow: «Goryachaya liniya – Telekom» Publ., 2023. 220 p.
8. Gel'rud Y.D., Kibalov E.B. Krupnomasshtabnye investicionnye proekty: problema gruppovoj ekspertnoj ocenki sravnitel'noj effektivnosti. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 71–79.
9. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury ocenki kachestva programmnyh izdelij. Moscow: «Goryachaya liniya – Telekom» Publ., 2019. 160 p.
10. Kanaev A.K., Oparin E.V., Oparina E.V. Obespechenie informacionnoj bezopasnosti sistemy taktovoj setevoy sinhronizacii na osnove ee entropijnogo analiza. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya, 2022, vol. 19, no. 3, pp. 505–514.
11. Dubnov Y.A. Entropijnoe ocenivanie v zadachah klassifikacii. Avtomatika i telemekhanika, 2019, no. 3, pp. 138–151.

12. Suhov A.V. Dynamics of information flows in a control system of a complex technological system. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2000, vol. 39, no. 4, pp. 592–600.
13. Suhov A.V., Velichko P.S., Konyushev V.V., Levin A.I. Informacionnyj resurs v obshchih tekhnicheskikh trebovaniyah k informacionno-kommunikacionnoj tekhnologii «Cifrovaya policiya». *Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya*, 2022, no. 3 (67), pp. 56–68.
14. Tkachenko I.N., Sivokoz K.K. Using Flexible Technologies Agile and Scrum for Managing Project Stakeholders. *Upravlenets – The Manager*, 2017, no. 4(68), pp. 85–95.
15. Karabiyik T., Jaiswal A., Thomas P., J. Magana A. Understanding the interactions between the scrum master and the development team: A game-theoretic approach. *Mathematics*, 2020, vol. 8, no. 9, Art. 1553.
16. Zinnatullin A.A., Musina D.R. Primenenie scrum-metoda dlya snizheniya riskov v proektah razrabotki neftegazovogo oborudovaniya. *Vestnik ekonomiki i menedzhmenta*, 2019, no. 1, pp. 26-30.
17. Boev A.G., Voronin S.I. Ispol'zovanie SCRUM-metoda realizacii pri vnedrenii cifrovoj platformy na promyshlennom predpriyatii. *Organizator proizvodstva*, 2019, vol. 27, no. 2, pp. 16–26.
18. Kurvers R.H., Wolf M., Naguib M., Krause J. Self-organized flexible leadership promotes collective intelligence in human groups. *Royal Society open science*, 2015, no. 2 (12), Art. 150222.
19. Schwaber K., Sutherland J. The scrum guide the definitive guide to scrum: The rules of the game. SCRUM Org. Available from: <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100> (Accessed 29 June 2024).
20. Rameev O.A. *Osnovy teorii prinyatiya reshenij v organizacionnyh sistemah upravleniya*. Moscow: «Goryachaya liniya – Telekom» Publ., 2023. 288 p.

ОТРАСЛЕВЫЕ АКСЕЛЕРАЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ КАК МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ БЫСТРОРАСТУЩИХ КОМПАНИЙ И СКЕЙЛАПОВ

Преображенская А.В., аспирант ФГБУ «Институт стандартизации», руководитель Фонда содействия развитию науки, образования и медицины

Ларин А.С., директор Института развития кооперации

Данная работа обобщает накопленный опыт в реализации отраслевых акселерационных программ, проводит анализ целевых групп – потенциальных участников программ. Предложена модельная схема работы отраслевого акселератора, типология акселераторов, а также описывается структура образовательных блоков и основных мер поддержки для дальнейшего развития быстрорастущих компаний технологического предпринимательства (на примере проектов SportTech индустрии). Акселерационная программа в данном случае помогает участнику упаковать проект, получить отраслевую и бизнес-экспертизу, найти потенциальных стейкхолдеров в применении проекта, продукта и/или технологии. На примере отдельной отрасли сегментируются типологические элементы структуры отраслевого акселератора, проводится сравнительный анализ типовых моделей акселераторов. Авторы формулируют новаторское описание быстрорастущим компаниям и на примере обобщения зарубежного опыта вводят понятие и ключевые характеристики скейлапа как компании, ориентирующейся на расширение доступа к рынкам; рост доходов, добавленной стоимости продукции или количества сотрудников, реализующей стратегию прорывного роста.

Ключевые слова: акселератор, стартап, развитие бизнеса, образовательная программа, быстрорастущая компания, меры поддержки предпринимательства, технологическое предпринимательство, скейлап.

Цитирование: Преображенская А.В., Ларин А.С. Отраслевые акселерационные программы как механизм стимулирования быстрорастущих компаний и скейлапов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 72–80.

ВВЕДЕНИЕ

В общепринятой терминологии, акселератор – это программа интенсивного развития компании (стартапа) через наставничество, обучение и экспертную поддержку. Акселераторы ошибочно принимают за процесс обучения, но это не совсем корректно. Если результатом обучающих программ являются просто новые знания, которые можно применить на деле, а можно «положить в долгий ящик», то результатом акселерации должен стать рост бизнеса (изменение и улучшение целевых метрик).

Ряд авторов дают следующее определение, акселераторы – цифровые площадки, созданные при участии города, крупных корпораций и операторов для развития и масштабирования стартапов [1].

Д.А. Статовский определяет акселератор как элемент инновационной системы, функционирование которого направлено на обеспечение благоприятных условий для интенсив-

ной коммерциализации инновационно-ориентированных проектов за счет повышения уровня управленческих компетенций, построения и развития коммуникаций инициаторов бизнес-проектов, а также предоставления доступа к инвестиционным ресурсам [2], что актуально, например, для создания Центров глобального технологического превосходства [3] на региональном уровне.

Сущность бизнес-акселерации заключается в том, что она позволяет объединить инвесторов и предпринимателей и обеспечивает улучшение показателей их масштабируемости и жизнеспособности [4].

Успешная реализация моноотраслевых акселераторов (например, в радиоэлектронной промышленности) подтверждает, что подобные программы в данном случае выполняют интегрирующего элемента экосистемы поддержки проекта и определяют характер высокотехнологических разработок в сфере интересов конкретной промышленности с опорой на активную предпринимательскую ини-

циативу [5]. В нефтегазовом секторе проекты акселерации имеют целью развитие собственной переработки добываемого сырья [4].

Ключевым процессом для акселерационной программы становится зарождение и развитие технологической компании, в результате которого рождается не просто новый отраслевой игрок, но осуществляется вывод на рынок его конечного продукта [6].

Цель работы – показать преимущества акселераторов в становлении новых компаний, особенно в среде малого бизнеса, способствуя коммерциализации инноваций и развитию инновационной отрасли в производственной сфере государства.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ТИПОЛОГИИ И ФУНКЦИЯМ АКСЕЛЕРАТОРА

На сегодняшний день можно выделить укрупненную группу инструментов поддержки участников акселератора:

- индивидуальная работа с личным бизнес-трекером¹: постановка целей и задач, новые знания и внедрение их в бизнес;

¹ **Бизнес-трекер** (от англ. to track «отслеживать») – это эксперт, который оценивает рабочие процессы в компании.

- повышение репутации проекта (факт участия в крупном акселераторе хорошо сказывается на последующем поиске партнёров);
- упаковка презентации проекта и получение навыков в искусстве питчинга – публичной защиты проекта. Для этого организаторы акселераторов устраивают демо-дни, где участники программы встречаются с крупными игроками рынка – потенциальными партнерами, представляют им свои идеи и получают обратную связь.

Можно выделить основные элементы акселератора (табл. 1) [7, 8].

Также можно выделить различные типы акселераторов:

- корпоративный, который проводит крупная компания для привлечения новых идей в свой бизнес. Акселератор полезный, но сложный для дальнейшего развития участников [6, 9]. Организатор выкупает только одну идею, а остальные остаются невостребованными. В отраслевых акселераторах такого не бывает, поскольку в экспертной комиссии есть представители разных компаний, которые взаимодействуют с большинством проектов;
- тематический (по сфере деятельности);
- социальный – включают проработку, подготовку и реализацию социально-значимых проектов, направлены

Таблица 1

Основные элементы акселератора

№ п/п	ЭЛЕМЕНТЫ АКСЕЛЕРАТОРА	ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТА АКСЕЛЕРАТОРА
1	Менторство	Команда работает с экспертами из разных областей, которые предоставляют бизнес-консультации. Зачастую к работе в акселераторах приглашают успешных предпринимателей
2	Инвестиции	Во многих акселераторах инвесторы участвуют в процессе рассмотрения заявок. Иногда сам акселератор может выступать в роли фонда, инвестиции покрывают расходы команды на протяжении работы. К примеру, их можно вложить в сторонние разработки для подготовки прототипа проекта
3	Обучение	Программы акселераторов включают мастер-классы, стажировки, лекции и воркшопы на доступном языке. Это позволяет команде получить знания и контакты, использование которых поможет в развитии бизнеса. Обычно обучение длится несколько месяцев (в среднем три), проводят курсы отраслевые специалисты
4	Инфраструктура	Акселераторы предоставляют проектам офисное пространство для работы, технику и доступ в интернет. Также используют коворкинг ¹ формат для некоторых проектов
5	Мероприятия	«Demo Day» и «Investor Day» – обычно финальная точка работы в акселераторе. В этот день команды представляют свои проекты потенциальным партнерам, инвесторам и СМИ. Попасть на него могут команды, бизнеса-план которых готов пройти проверку на практике. Создание такого типа акселераторов является лучшим решением для привлечения максимально разнообразных проектов
6	Нетворкинг	В программах участвуют команды, которые могут постоянно контактировать с экспертами и инвесторами отраслями, обрстая полезными связями. Таким образом формируется сплоченное комьюнити

² Коворкинг – совместная работа команд системы бизнес-акселератора, что позволяет организовать общение людей, обладающих различным опытом, мышлением, профессиями, что способствует заведению новых деловых связей, обмену идеями и опытом [6].

на повышение качества коммуникации между некоммерческими организациями и бизнесом;

- венчурный – направлен на выявление жизнеспособных бизнес-моделей и дальнейшее инвестирование для проверки уровня зрелости проекта;
- по сегментации рынков сбыта: городской, всероссийский, международный и др.;
- по типу постановка задач – существуют акселерационные программы, которые доводят до результата, но есть и те, которые не делают этого;
- по уровню зрелости проекта – участниками акселератора являются либо стартапы, либо действующие предприниматели;
- по цели инвестирования – коммерческий, некоммерческий [7].

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОТРАСЛЕВОГО АКСЕЛЕРАТОРА В СПОРТИВНОЙ ИНДУСТРИИ

SportTech² – это российский отраслевой акселератор, направленный на поддержку и развитие технологического предпринимательства в сфере спорта. Программа оказывает влияние на отрасль через внедрение новых механизмов работы с инновациями в действующие компании спортивной индустрии. Программа организована Фондом содействия развитию науки, образования, медицины и осуществляется при поддержке компании «Иннопрактика» и реализуется с 2021 года.

Основная цель отраслевого акселератора – вывести отраслевые проекты участников на новый уровень развития. В этом помогают: трекер, партнеры и специальное обучение. Специфика акселератора SportTech среди прочих программ заключается в соединении команд проектов с партнерами и предложение последним инновационных продуктов для пилотирования и внедрения на производствах.

Для оценки конкурентоспособности в данном сегменте был проведен сравнительный анализ типовых моделей действующих акселераторов (табл. 2).

В отличие от корпоративного акселератора в программу SportTech все проекты систематизируются по целевой аудитории (атлеты, фанаты, руководители). Подобный подход позволяет четко классифицировать продукты и решения на основании того, для кого они предназначены.

Для более продуктивного продвижения стартапов современным акселераторам необходимо сфокусироваться на одной из отраслей, собрать сильный состав экспертов, привлечь сторонних инвесторов, по возможности включить в работу зарубежных участников, выбрать востребо-

ванные темы, проводить работу по акселерации с перспективой выхода на мировой рынок [10].

Также необходимо посмотреть на те зоны компетенций, которые пока не подтверждают свой заявленный потенциал.

SportTech³ может стать родоначальником подобного вида отраслевого акселератора. В нём проводится глубокая отраслевая экспертиза, позволяющая не только понимать текущие потребности рынка, но и прогнозировать то, что будет востребовано в ближайшем будущем, а также привлекать сильный состав экспертов и профильных инвесторов. Хочется отметить, что поддержки стартапам всегда не хватает, особенно в отраслевой специфике. Но чем больше отраслевых акселерационных программ будет реализовываться, тем лучше и больше проработанных и востребованных решений будет появляться на рынке.

Программу в части пилотирования поддержало 35 компаний из числа корпораций, спортивных клубов и ассоциаций, среди которых Ассоциация операторов фитнес-индустрии России, Ассоциация производителей и экспортеров отечественных спортивных товаров и оборудования (РСИ), Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов (ВОИР), спортивные хоккейные и футбольные клубы.

На момент окончания подачи заявок было рассмотрено 323 проекта. Из них эксперты отобрали 175, после чего в финал попало 23 стартапа и 3 проекта, рекомендуемых для реализации в регионах Российской Федерации (рис. 1).

Проекты, представленные в акселераторе, охватили разные направления спортивной индустрии и здорового образа жизни.

Предлагаем взглянуть на статистику заявленных работ по направлениям: проекты, прошедшие отборочный этап, получили возможность укрепить свои предпринимательские навыки и найти реальных инвесторов. Так, с 1 мая акселерационная программа SportTech-2023 приступила к работе с бизнес-трекерами, партнерами и к образовательной части. На гостевых днях участники дискутировали с экспертами на тему перспективных направлений развития индустрии спорта и технологий.

С начала работы акселератора состоялось более 100 презентаций, проведено 200 часов трекингов, увеличились обороты отдельных стартапов, также достигнуто 10 договоренностей о запусках пилотных проектов на базе партнеров (рис. 2).

Лидерами по заявкам являются темы в сфере технологических решений в сфере массового спорта и здоровья (35%),

² Что такое акселератор [Электронный ресурс]. – URL: <https://vc.ru/u/1035277-akselerator-sporttech/485656-chto-takoe-akselerator> (дата обращения: 07.06.2024).

³ Официальный сайт спортивного акселератора SportTech [Электронный ресурс]. – URL: <https://innosport.tech/> (дата обращения: 07.06.2024).

Таблица 2

Сравнительный анализ типовых моделей акселераторов

ТИПЫ АКСЕЛЕРАТОРОВ	ЦЕЛИ	ОСНОВАТЕЛЬ	УЧАСТИЕ СТАРТАПА	РЕЗУЛЬТАТ	ПРЕИМУЩЕСТВА
Корпоративные	Сохранение конкурентного преимущества Вывод новых продуктов на рынок Найм перспективных кадров	Корпорация	Бесплатное	Вывод на рынок нового продукта при поддержке материнской компании Создание нового стартапа	Выживаемость стартапов на 25% выше, чем у аналогов. Скорость вывода продуктов на рынок на 50% выше, чем у аналогов Более высокий профессионализм команды
Акселератор как бизнес	Инвестиции и получение доли (4–8% в среднем) в стартапах	Частные или международные сети	Платное	Привлечение венчурных инвестиций	Низкая выживаемость инвестиций стартапа (3 из 10)
Социально ориентированные	Реализация социально значимых проектов	НКО, вузы, государственные структуры	Бесплатное	Решение городских и социальных задач	Низкая выживаемость стартапа (1 из 10). Оторванность от рынка
Отраслевой	Повышение выживаемости новых инновационных бизнесов Внедрение новых технологий на рынок	Отраслевые ассоциации, профильные органы власти, ключевые игроки отраслевого рынка	Бесплатное	Увеличение скорости вывода новых продуктов на рынок Поиск новых ниш, формирование новых рынков	Увеличение количества партнерских сделок Увеличение оборота компании

Источник: составлено автором



Рис. 1. Результаты работы отраслевого акселератора SportTech

Источник: составлено автором



Рис. 2. Распределение явок по укрупненным категориям индустрии спорта

Источник: составлено автором

разработка отраслевых приложений (15%) и решений для детского спорта (13%).

В ходе проведения SportTech-2023 хорошие результаты продемонстрировали многие проекты, в том числе RunTech (система автоматического анализа элементов техники бега), SportDots (инновационная технология изготовления спортивной одежды) и Copplife (создание умной спортивной одежды).

Программа SportTech-2023 стала лидером в области привлечения индустриальных партнёров и уже можно сказать о заметном влиянии программы на спортивную отрасль в части реализации практических решений. Главный критерий эффективности отраслевого акселератора – построение кооперационных цепочек добавленной стоимости с индустриальными партнерами и среди госсектора и институтов развития для пилотного внедрения лучших проектов.

Особую связующую роль между проектами и инвесторами формирует профессиональный трекер. Команда трекеров сопровождает команды в течение всего периода их работы в акселераторе, направляет и знакомит с партнёрами.

Важной специфической чертой SportTech является раннее выявление фактической потребности индустриального партнера, что учитывается при отборе на старте первичных заявок экспертным жюри. Такие идеи в рамках акселератора упаковывают в проект и доводят их до сделки.

Те идеи, которые имеют перспективы, но не находят поддержки у нынешних партнёров-потенциальных инвесторов, либо откладываются на время, либо находят в рамках акселератора новых заинтересованных партнёров, и ключевую роль в этом процессе играют именно трекеры. Таким образом, трекер и предприниматель – это два креативных актора, которые, находясь в диалоге, могут определить то, что поможет развиваться бизнесу. Трекер даёт внешний взгляд на бизнес, показывает возможности, ограничения, осуществляет коучинг определённым навыкам и знакомит с партнёрами. Кроме регулярных встреч с бизнес-командами, трекеры также постоянно обсуждают проекты и их развитие с профессиональным сообществом.

Основные отличия SportTech-2023 от других аналогичных программ в том, что встречи с партнёрами и потенциальными инвесторами, глубокая отраслевая экспертиза проходят с начала реализации образовательной программ.

Подобный подход продиктован главной задачей акселератора – внедрить новые технологий на российский рынок. Поэтому так важно дать молодым предпринимателям возможность протестировать свои разработки, наладить устойчивые бизнес-связи со стратегическими партнерами, создать бизнес-план, запустить или увеличить продажи и,

как результат, сделать свой проект востребованным и коммерчески выгодным.

Отраслевой акселератор фактически встраивается в технологическую экосистему, внутри которой команды получают профессиональные знания, конструктивную обратную связь о реализованных проектах, учатся формулировать мысли, цели и задачи, защищать свои стартапы в коротких питчах, чтобы на выходе получить не диплом или грамоту, а приглашение на следующий этап акселерации.

В отраслевых акселераторах находятся проекты, которые интересны определённым партнёрам. Например, в России в сфере спорта пока существует полноценной отрасли спортивных технологий, и ему не хватает конкуренции, благодаря которой в нашей стране можно выстроить спортивный рынок. Однако SportTech растёт и перспективы его развития predeterminedены спросом на спорт и urban health до 2030 года.

Поэтому для нашей страны SportTech может означать «новую экономику». К сожалению, сейчас стране практически нет технологий, которые мы производим на местном уровне. Благодаря SportTech мы можем найти и вырастить проекты, пусть пока небольшие, но с перспективой выхода на международный рынок. В наших интересах поддерживать локальных игроков на ранних стадиях и помогать проектам находить средства на прототипы и наставников, с помощью которых они создадут технологию на экспорт из России. При этом выручка будет возвращаться в страну, как и рабочие места.

КЛЮЧЕВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ АКСЕЛЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ БЫСТРОРАСТУЩИХ КОМПАНИЙ

Отраслевые акселераторы ориентированы на быстрорастущие компании, в зарубежной терминологии – high-growth firms (HGF) – это компании, которые показывают стремительный рост экономических показателей деятельности: кратное увеличение выручки, объемов производства и производительности труда, интенсификация производства за счет разработки и внедрения инновационных технологий.

Характерные признаки поддерживаемых быстрорастущих компаний: промышленность (включая ИКТ), высокая инновационная активность, экспортная ориентация.

Основные черты зарубежных госпрограмм по поддержке быстрорастущих компаний:

- индивидуальный отбор компаний, ограниченное число участников;

- поддержка компаний в целом, не по отдельным проектам компаний;
- установка конкретных измеримых целевых показателей;
- внедрение консерж-менеджмента;
- активная «soft» – поддержка⁴.

По терминологии Европейского объединения начинающих предпринимателей (Startup Europe Partnership)⁵ scaleups (скейлапы) – компании, ориентирующиеся на расширение доступа к рынкам; рост доходов, добавленной стоимости продукции или количества сотрудников, и реализующие стратегии «win-win» в процессе взаимодействия с лидерами рынка и прорывными компаниями.

По данным исследовательского отчета EndeavorInsight⁶, к категории компаний – скейлапов относятся компании с ростом свыше 20% за последние три года (на основе анализа инновационных предпринимателей Юго-Восточной Азии).

В европейском комплексном плане The Scale Up Manifesto⁷ выделено 49 рекомендаций, образующих 6 основных приоритетов развития экосистемы поддержки скейлапов (рис.3).

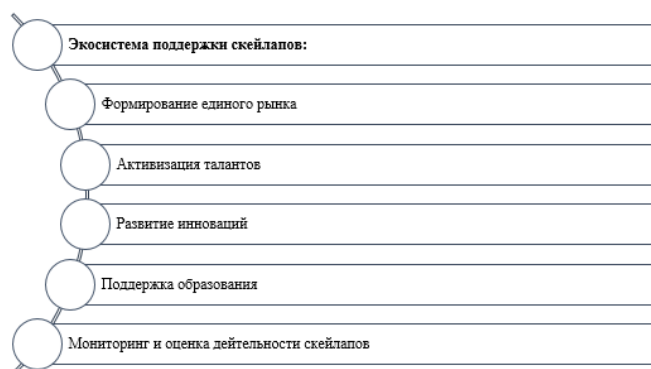


Рис. 3. Элементы поддержки скейлапов

Источник: составлено по данным открытых источников

⁴ «Soft» - поддержка – представляет собой комплекс образовательных мер, направленных на повышение сквозных «гибких» компетенций, важных для карьеры, при этом не относящихся к профессиональным знаниям и не зависящих от специфики работы (например, клиентоориентированность, самоорганизация, экологическое мышление, стрессоустойчивость, эмоциональный интеллект, обучаемость, креативность и пр.).

⁵ Сайт Европейского объединения начинающих предпринимателей [Электронный ресурс]. – URL: <https://startupeuropepartnership.eu/> (дата обращения: 07.06.2024).

⁶ Исследовательский отчет [Электронный ресурс]. – URL: <https://scaleupinsights.org/> (дата обращения: 07.06.2024).

⁷ Европейский комплексный план развития скейлапов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scaleupinstitute.org.uk/reports/scaleup-europe-manifesto/> <https://scaleupinsights.org/> (дата обращения: 07.06.2024).

Для дальнейшего развития скейлапов сформулированы 10 предложений, включающие меры по легитимизации статуса компаний-скейлапов, выделения адресной государственной поддержки данной категории предпринимателей, организации акселерационных образовательных программ scaleup acelerator, развитию коммуникационных платформ и каналов сбыта продукции на внешние рынки и пр.

В мировой практике декларируется необходимость разработки и реализации комплексных программ по созданию инфраструктуры поддержки скейлапов, которая должна быть информационно связана с технологическими подсистемами современного города, основываясь на текущих перспективных задачах городской информационной среды [11, 12].

Можно резюмировать, что скейлапы сегодня – это успешные компании, ориентированные на международные рынки и потенциально настроенные на быстрое развитие [13]. Они выросли из стартапа, сформировали основных партнеров и контрагентов, укрепились до определенных объемов, но для перехода в категорию быстрорастущих и прибыльных компаний им нужны новые ресурсы, новые каналы сбыта продукции и новые технологии.

Официальной статистики по скейлапам в России нет, ведь многие эксперты характеризуют их не как отдельную категорию бизнеса, а всего лишь временную стадию развития в жизненном цикле организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт реализации отраслевых акселераторов показывает, что на местном уровне необходимо формирование специальных инструментов, ориентированных на поддержку быстрорастущих компаний:

- прямые субсидии быстрорастущим компаниям на развитие деятельности таких компаний без привязки к реализации конкретных проектов (обновление оборудования);
- выделение целевого финансирования на развитие гибких характеристик организации компаний: консалтинг, продвижение, переподготовка кадров, систему акселерации, брендинг, формирование комфортной городской среды, нетворкинг (городской клуб быстрорастущих компаний);
- программа поддержки городских быстрорастущих высокотехнологичных компаний включает комплексную программу акселерации как hard (предоставление больших грантов и долевого участия в финансировании (до 70% совокупных проектных затрат), так и soft-поддержку компаний (доступ к международным и российским сетям бизнес-тренеров, венчурных инвесторов, консалтинг и прочим акселерационным сервисам).

Рекомендуемые параметры (целевые показатели) эффективности подобной программы отраслевого акселератора могут включать, например:

- рост выручки компаний-участников проекта (в том числе экспоненциальный);
- рост объема экспорта компаний-участников проекта;
- рост количества предприятий, участвующих в реализации проекта (рекомендуемое значение от 10 до 30 компаний в год);
- увеличение количества региональных компаний, осуществляющих технологические инновации.

Рекомендуемые модули программы поддержки быстрорастущих технологических компаний отраслевого акселератора должны обеспечивать:

1. Поддержку взаимодействия компаний с региональными институтами развития инновационной инфраструктуры:
 - вовлечение региональных органов власти и управления в проект;
 - индивидуальное сопровождение скейлапов и быстрорастущих компаний;
 - помощь в преодолении административных барьеров;

- содействие экспорту продукции и услуг;
- поддержка при взаимодействии на федеральном уровне.

2. Консультационная и образовательная поддержка компаний:

- помощь в подготовке стратегий роста компаний;
- консалтинговая поддержка;
- менторская поддержка;
- образовательные программы.

3. Коммуникационная поддержка компаний:

- привлечение компаний к бизнес-миссиям, выставкам, форумам;
- организация взаимодействия с инвестиционно-банковскими структурами;
- организация взаимодействия с крупными компаниями;
- организация «сетевого» взаимодействия компаний;
- организация взаимодействия компаний со СМИ и общественностью (страна должна знать своих героев, цикл видеопрограмм по популяризации быстрорастущих компаний, истории успеха).

Список использованных источников и литературы

1. Митькина О.В. Менеджмент инноваций в условиях санкций // Экономика и бизнес: цифровая трансформация и перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, в 2-х томах, Москва, 14 апреля 2022 года. Т. 1. – М.: АНО ВО «Институт бизнеса и дизайна», 2022. С. 372–379.
2. Статовский Д.А. Роль бизнес-акселераторов в системе инноваций // Инновации. 2015. № 4 (198). С. 49–52.
3. Мельничук А.Г., Журавлева Т.Б., Абрамов П.Е. Инновационные центры: путь к опережающему развитию // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 6 (75). С. 59–67.
4. Ермолина Л.В., Ильина Л.А. Особенности управления проектами акселерации развития бизнеса нефтегазовых предприятий // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 16 (195). С. 80–84.
5. Трофимов О.В., Ганин А.Н. Разработка акселерационной программы стартапов в радиоэлектронной промышленности // Креативная экономика. 2019. Том 13, № 3. С. 553–558.
6. Хворостяная А.С. Корпоративный акселератор как стратегический инструмент развития трансфера технологий для предприятий легкой промышленности и индустрии моды // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 1. С. 32–44.
7. Сытник А.А. Анализ российской системы бизнес-акселерации // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2015. № 5 (59). С. 51–54.
8. Жданова О.А. Бизнес-акселератор – институт венчурной инфраструктуры // Теория и практика общественного развития. 2014. № 19. С. 51–55.
9. Исследование мирового и российского опыта развития корпоративных акселераторов. 2016. [Электронный ресурс]. – URL: <http://respublika-saha.iip.ru/data/mediadb/1645/0000/0130/13023.pdf> (дата обращения: 07.06.2024).
10. Столярова Е.В. Международный опыт использования акселераторов для создания цифровых инноваций // Цифровая трансформация. 2020. № 3 (12). С. 17–30.
11. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Перспективы стандартизации информационного пространства умного города // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 2 (66). С. 4–11.
12. Мухаметов Д.Р. Проблемы и перспективы реализации концепции «Умный город» в России (на примере Москвы) // Мир новой экономики. 2019. Т. 13, № 3. С. 81–88.
13. Акселераторы. Обзор международного опыта (Агентство Инноваций Москвы), 2019. [Электронный ресурс]. – URL: <https://generation-startup.ru/analytics/akseleratory-obzor-2019/> (дата обращения: 07.06.2024).

INDUSTRY ACCELERATION PROGRAMS AS A MECHANISM FOR STIMULATING FAST-GROWING COMPANIES AND SCALE-UPS

Preobrazhenskaya A.V., graduate student of the Russian Standardization Institute, Head of the Foundation for the Promotion of Science, Education and Medicine

Larin A.S., Director of the Institute for Cooperation Development

This work summarizes the accumulated experience in the implementation of industry-specific acceleration programs, analyzes target groups – potential program participants. A model scheme of the industry accelerator, a typology of accelerators is proposed, and the structure of educational blocks and basic support measures for the further development of fast-growing technology entrepreneurship companies is described (using the example of SportTech industry projects). In this case, the acceleration program helps the participant to package the project, obtain industry and business expertise, and find potential stakeholders in the application of the project, product and/or technology. Using the example of a separate industry, the typological elements of the structure of an industry accelerator are segmented, and a comparative analysis of typical accelerator models is carried out. The authors formulate an innovative description of fast-growing companies and, using the example of generalizing foreign experience, introduce the concept and key characteristics of a scalap as a company focused on expanding market access; revenue growth, product value added, or the number of employees implementing a breakthrough growth strategy.

Keywords: accelerator, startup, business development, educational program, fast-growing company, measures to support entrepreneurship, technological entrepreneurship, scale-up.

For citation: Preobrazhenskaya A.V., Larin A.S. Industry Acceleration Programs as a Mechanism for Stimulating Fast-Growing Companies and Scale-ups. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 72–80. (In Russ.).

References

1. Mit'kina O.V. Menedzhment innovacij v usloviyah sankcij. Ekonomika i biznes: cifrovaya transformaciya i perspektivy razvitiya: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 14 April 2022. V. 1. Moscow: ANO VO «Institut biznesa i dizajna» Publ., 2022, pp. 372–379. (in Russ.).
2. Statovskij D.A. Rol' biznes-akseleratorov v sisteme innovacij. Innovacii, 2015, no. 4 (198), pp. 49–52. (in Russ.).
3. Mel'nichuk A.G., Zhuravleva T.B., Abramov P.E. Innovacionnye centry: put' k operezhayushchemu razvitiyu. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, no. 6 (75), pp. 59–67. (in Russ.).
4. Ermolina L.V., Il'ina L.A. Osobennosti upravleniya proektami akseleracii razvitiya biznesa neftegazovyh predpriyatij. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2016, no. 16 (195), pp. 80–84. (in Russ.).
5. Trofimov O.V., Ganin A.N. Razrabotka akseleracionnoj programmy startapov v radioelektronnoj promyshlennosti. Kreativnaya ekonomika, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 553–558. (in Russ.).
6. Hvorostyanaya A.S. Korporativnyj akselerator kak strategicheskij instrument razvitiya transfera tekhnologij dlya predpriyatij legkoj promyshlennosti i industrii mody. Intellekt. Innovacii. Investicii, 2023, no. 1, pp. 32–44. (in Russ.).
7. Sytnik A.A. Analiz rossijskoj sistemy biznes-akseleracii. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta, 2015, no. 5 (59), pp. 51–54. (in Russ.).
8. Zhdanova O.A. Biznes-akselerator – institut venchurnoj infrastruktury. Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya, 2014, no. 19, pp. 51–55. (in Russ.).
9. Issledovanie mirovogo i rossijskogo opyta razvitiya korporativnyh akseleratorov [Study of world and Russian experience in the development of corporate accelerators]. 2016. Available at: <http://respublika-saha.iip.ru/data/mediadb/1645/0000/0130/13023.pdf> (Accessed 7 June 2024).

10. Stolyarova E.V. Mezhdunarodnyj opyt ispol'zovaniya akseleratorov dlya sozdaniya cifrovyyh innovacij. Cifrovaya transformaciya, 2020, no. 3 (12), pp. 17–30. (in Russ.).
11. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Perspektivy standartizacii informacionnogo prostranstva umnogo goroda. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 2 (66), pp. 4–11. (in Russ.).
12. Muhametov D.R. Problemy i perspektivy realizacii koncepcii «Umnij gorod» v Rossii (na primere Moskvy). Mir novoj ekonomiki, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 81–88. (in Russ.).
13. Akseleratory. Obzor mezhdunarodnogo opyta (Moscow Innovation Agency). 2019. Available at: <https://generation-startup.ru/analytics/akseleratory-obzor-2019/> (Accessed 7 June 2024).

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Антонов С.А., канд. экон. наук, доц., декан факультета менеджмента и инженерного бизнеса, заведующий кафедрой «Компьютерного моделирования и техносферной безопасности», Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова, г. Казань

Статья посвящена вопросам обеспечения системного и комплексного развития концепции экономики замкнутого цикла на основе стандартизации. Проблематика формирования и развития системы стандартизации экономики замкнутого цикла является важной и актуальной, что обусловлено повышением требований к охране окружающей среды и рациональному использованию ресурсов. Создание системы стандартов экономики замкнутого цикла призвано обеспечить единство подходов к реализации поставленных задач в области экологии и ресурсосбережения и предотвращать радикализацию экономических и социальных отношений в данной сфере. Помимо решения основной задачи по формированию стандартизации экономики замкнутого цикла, работа содержит предложения по развитию действующих систем стандартизации, в той или иной степени связанных с рассматриваемой проблематикой, таких как экологический менеджмент, инновационный менеджмент и устойчивое развитие.

Ключевые слова: стандартизация, экономика замкнутого цикла, экология, ресурсосбережение, устойчивое развитие.

Цитирование: Антонов С.А. Перспективы и основные направления развития стандартизации экономики замкнутого цикла // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 81–87.

ВВЕДЕНИЕ

Рост актуальности решения задач повышения эффективности использования ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду обосновывают значимость реализации подходов и стратегий экономики замкнутого цикла. Популяризация и продвижение данной концепции в настоящее время поддерживается целенаправленной деятельностью по стандартизации, реализуемой на международном уровне техническим комитетом ISO TC 323, а на национальном – Техническим комитетом по стандартизации ТК 483 «Экономика замкнутого цикла».

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

В настоящее время техническим комитетом ISO TC 323 разработаны и находятся в разработке пять стандартов экономики замкнутого цикла серии ISO 59000 и двух технических отчетов. Результаты работы национального технического комитета 483 несколько скромнее. На данный момент действует один стандарт – ГОСТ Р 70089–2022 «Ресурсосбережение. Общие подходы к реализации принципов экономики замкнутого цикла на предприятиях», а в Программе национальной стандартизации на 2024 год за дан-

ным техническим комитетом закреплена разработка еще пяти стандартов, три из которых напрямую связаны с экономикой замкнутого цикла.

В настоящее время наиболее полная проработка и описание концепции экономики замкнутого цикла было представлено в 2023 году Европейской экономической комиссией ООН [1], которая представляет собой комплекс взаимосвязанных стратегий модернизации экономики и визуализируется в виде единого замкнутого цикла, включающего в себя жизненные циклы и продукции и ресурсов. Такое представление экономики замкнутого цикла обосновывает целесообразность развития стандартизации в данной сфере, в том числе и на основе концепции жизненного цикла. С другой стороны понимание комплексности и многосоставности экономики замкнутого цикла, выражающиеся в значительной ее преемственности значительному количеству управленческих концепций экологической и ресурсосберегающей направленности, свидетельствует о необходимости использования наработанного опыта в системах стандартизации в данных областях. Так, в качестве фундамента концепции экономики замкнутого цикла Л. Фродерман выделяет новые типы экономик: «экономика сотрудничества», «восстановительная

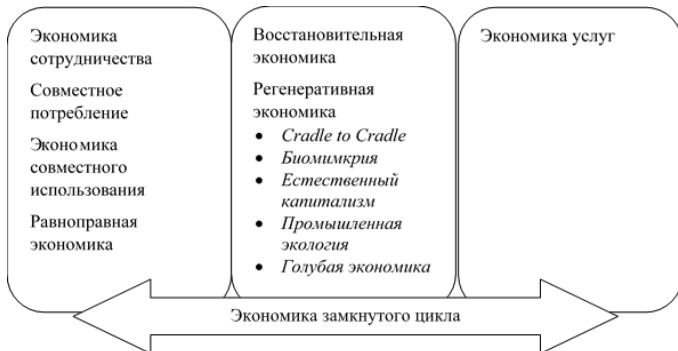


Рис. 1. Структурная декомпозиция предполагает определение подсистем и отдельных элементов

экономика» и «экономика услуг», которые могут рассматриваться в качестве составных элементов экономики замкнутого цикла [2] (рис.)

Понимание необходимости учета значительного разнообразия концепций и подходов при формировании требований и положений системы стандартизации экономики замкнутого цикла предопределяет целесообразность использования интеграционных инструментов для учета специфики данных концепций.

Основными инструментами реализации стратегий экономики замкнутого цикла являются различные виды инноваций. По результатам исследования У. Штала, Х. Поттинг [3; 4] такими инструментами являются инновации различных направлений:

1. Стратегии экономики замкнутого цикла, при которых появление конкретной, радикально новой технологии занимает центральное место и формирует переход (радикальные инновации в основных технологиях). Необходимы социально-институциональные изменения, чтобы дать новой технологии место в обществе.
2. Стратегии экономики замкнутого цикла, в которых центральное место занимают социально-институциональные изменения и где технологические инновации играют второстепенную роль (постепенные инновации в основных технологиях).
3. Стратегии экономики замкнутого цикла, в которых центральное место занимают социально-институциональные изменения, но которым способствуют соответствующие инновационные технологии.

Помимо инноваций различного типа, инструментами перехода к экономике замкнутого цикла являются инструменты ресурсосбережения, такие как повышение энергоэффективности, снижение материалоемкости, повышение производительности труда, снижение водопотребления и т.д., а также инструменты экологического менеджмента, как разработка и внедрение экологически чистых технологий.

Все вышесказанное обосновывает применение следующих подходов при формировании системы стандартизации экономики замкнутого цикла:

- концепция жизненных циклов продукции и ресурсов;
- интеграция соответствующих положений существующих систем стандартизации (менеджмент качества, экологический менеджмента, менеджмент устойчивого развития, инновационный менеджмент и другие) при формировании требований к построению экономики замкнутого цикла.

В тоже время, помимо вышеуказанных основных направлений стандартизации экономики замкнутого цикла целесообразно определить области дальнейших улучшения в рамках совершенствования системы стандартизации. Для этого были проанализированы перспективы реализации концепции замкнутых циклов в российской экономике и тенденции развития сопутствующих систем стандартизации. Под сопутствующими системами стандартизации понимаются системы тем или иным образом связанные со стандартами ЭЗЦ. Такими системами являются:

- Система стандартизации экологического менеджмента;
- Система стандартизации ресурсосбережения;
- Система стандартизации устойчивого развития сообществ.

Анализ существующих трендов в экономике замкнутого цикла показал перспективные направления развития стандартизации в данной области. В частности, основным трендом является усиление внимания и влияния государства на мотивацию предприятий к переходу на новые циркулярные экономические механизмы. Для этого ряд специалистов [5] прогнозируют ряд комплексных мероприятий, затрагивающих разработку законодательных актов в области экономики замкнутого цикла, изменения в ряде природоохранных нормативных актов, создание субсидиарных механизмов, направленных на поддержку реализации предприятиями циркулярных стратегий, усиление инвестиционной активности государства и бизнеса в циркулярные научно-исследовательские проекты.

Принимая во внимание реализуемый в настоящее время законотворческий процесс разработки Федерального закона «Об экономике замкнутого цикла», с точки зрения развития системы стандартизации ЭЗЦ целесообразным является инициирование включения в разрабатываемый проект закона положений о необходимости использования в деятельности предприятий стандартов экономики замкнутого цикла. В качестве мотивационной поддержки применения таких стандартов необходимо сделать такое применение обязательным для получения государственных субсидий предприятиями для реализации стратегий экономики замкнутого цикла.

Еще одним трендом экономики замкнутого цикла в Российской Федерации является институциональное обеспечение развития региональных связей при реализации утилизационного этапа жизненного цикла продукции и ресурсов. Одним из инструментов такого обеспечения является «создание в регионах России экопромышленных парков, в которых все этапы работы с различными отходами – от сортировки и утилизации до изготовления новой продукции – будут проходить в пределах одной территории» [6].

Экопромышленный парк, как сообщество фирм по производству и обслуживанию, увеличивающее экологические и экономические показатели путем сотрудничества в области управления ресурсами, «обладает как минимум одним из следующих свойств:

- экологической интеграцией в пространственные окрестности;
- максимумом энергетической эффективности и использованием возобновляемых источников энергии;
- региональным управлением материальными потоками с максимальным применением всех материалов и минимизацией затрат, прежде всего, токсичных субстанций;
- ориентированной на устойчивость инфраструктурой;
- эффективным управлением отраслевой кооперацией при непрерывном улучшении экологических, экономических и социальных процессов» [7].

Для обеспечения единства подходов к формированию и поддержке функционирования экопромышленных парков целесообразно инициировать стандартизацию указанных процессов. Стандарт «Рекомендации по формированию и функционированию экологических промышленных парков» должен стать залогом успешной деятельности регионов и муниципалитетов в данной сфере.

Полноценное внедрение стратегий и механизмов экономики замкнутого цикла требует особого надпроизводственного управления, которое должно формироваться специальным региональным органом управления и выполнять следующие задачи:

- «определение целей и планирование циркулярных проектов;
- стратегическое и оперативное планирование на уровне региональной экономической системы;
- логистическое и информационное обслуживание процессов обмена материалами и энергией в рамках экопромышленных парков и с пространственно удаленными партнерами;
- планирование и финансирование общих проектов, в частности, размещения предприятий-партнеров и инвестиций;
- техническую поддержку и информационный менеджмент;

- сопоставление экономических и экологических последствий функционирования сети для «успешного контроля» (целостный контроллинг);
- мониторинг и информирование о результатах;
- обслуживание инфраструктуры;
- управление связанными с деятельностью экопромышленных парков финансовыми, техническими, управленческими, правовыми и другими рисками» [7].

Из всех вышеперечисленных задач с точки зрения необходимости стандартизации особую значимость имеет задача формирования и управления информационными потоками в целях обеспечения эффективного функционирования субъектов экономики замкнутого цикла. «Информация о специфических материальных и энергетических потоках является важнейшим фактором успеха для закрытия региональных потоков в существующем или формирующемся экопромышленном парке» [7].

Таким образом, одним из направлений совершенствования системы стандартизации экономики замкнутого цикла является разработка или совершенствование стандартов отчетности в целях формирования положений об информационном обмене между участниками циркуляционных процессов и сбора необходимых статистических данных в целях оценки результативности и эффективности механизмов и инструментов экономики замкнутого цикла.

Результаты анализа современных тенденций в области стандартизации показали важность и необходимость гармонизации национальных и международных стандартов. В рамках развития системы стандартизации ЭЗЦ такая гармонизация должна быть направлена на закрепление в национальных документах стандартизации результатов мировых практик реализации наиболее эффективных стратегий и механизмов экономики замкнутого цикла. В то же время существуют определенные ограничения для использования унифицированных стандартов, связанные с недопустимостью использования отдельных механизмов трансформации линейной экономики в циркулярную. Таким механизмом является радикальные подходы к ограничению прав собственности в рамках реализации экономики совместного использования, приводящие к потере правосубъектности потребителя. Другим ограничением является экономически необоснованные требования перехода на возобновляемые источники энергии, реализация которых разрушает сбалансированную систему энергоснабжения и, в конечном счете, увеличивает себестоимость конечной продукции.

Положительным аспектом гармонизации национальных и международных стандартов ЭЗЦ является распространение наилучшего мирового опыта реализации конкретных бизнес-моделей циркулярной экономики на российских предприятиях. Важной задачей развития системы стандартизации ЭЗЦ в этой области является адаптация зарубеж-

ного опыта к специфике российской экономики, управленческих подходов и нормативно-правового регулирования.

Как одно из дополнительных направлений развития системы стандартизации ЭЗЦ может стать коррекция такого вида документов стандартизации как информационные справочники по наилучшим доступным технологиям. Варианты коррекции заключаются во включении в структуру таких документов раздела, связанного с вторичным использованием отходов производства, ресурсосбережением и рециклингом.

Следующим направлением развития системы стандартизации ЭЗЦ является создание и расширение системы сертификации и аккредитации органов сертификации. Система добровольной сертификации организаций на соответствие требованиям стандартов экономики замкнутого цикла является необходимым инструментом подтверждения способности компаний к трансформации своей деятельности на принципах и подходах циркулярности. Для обеспечения системного подхода к организации системы добровольной сертификации необходимо создание четких и прозрачных требований к аккредитации органов по сертификации. Содержание таких требований может отличаться от требований стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 17021, например, в области учета специфики подходов экономики замкнутого цикла при проведении аудитов, в том числе требований к компетентности для проведения аудитов и сертификации.

Другим немаловажным аспектом развития системы стандартизации ЭЗЦ является повышение осведомленности руководителей организаций, а также специалистов в области управления качеством, ресурсосбережения и устойчивого развития о важности и необходимости внедрения и поддержания стандартов экономики замкнутого цикла в организациях, как фактора обеспечения конкурентоспособности компаний и их социальной ответственности. Такое понимание формируется, в первую очередь, за счет повышения значимости системы стандартизации экономики замкнутого цикла посредством внесения изменений в ряд законодательных актов в области ресурсосбережения, энергосбережения, а также при разработке федерального закона «Об экономике замкнутого цикла».

Как было сказано выше, косвенное влияние на развитие системы стандартизации ЭЗЦ оказывает совершенствование отдельных документов стандартизации системы экологического менеджмента. В первую очередь это касается стандартов, входящих в группу «Экологические требования к проектированию». В частности, в такие стандарты как ГОСТ Р ИСО 14006–2022 «Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по включению экологических норм при проектировании» [8], ГОСТ Р МЭК 62430–2023 «Экологический менеджмент. Проектирование с учетом экологических требований. Принципы, требования и руководство» [9] и ГОСТ Р 59779–2021 «Эко-

логический менеджмент. Проектирование и разработка продукции с возможностью вторичной переработки. Основные положения» [10], как минимум, должны быть включены ссылки на стандарты экономики замкнутого цикла, а как максимум добавлены требования соблюдения стандартов ЭЗЦ, разрабатываемых в рамках реализации перспективной программы комплексной стандартизации процессов проектно-производственного этапа жизненного цикла экономики замкнутого цикла. В целом изменения стандартов системы экологического менеджмента должны быть направлены на внедрение принципов экологического дизайна и нормативов, контролирующих использование вторичных материалов, возобновляемых ресурсов и энергии в производственных процессах, что будет способствовать уменьшению зависимости от первичных ресурсов и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Отдельным направлением развития системы стандартизации ЭЗЦ является совершенствование стандартизации в сфере рециклинга и управления отходами производства и потребления. В Российской Федерации в настоящее время механизмы рециклинга как инструмента ресурсосбережения достаточно хорошо проработаны. Однако, эта проработка не получила необходимую поддержку в виде соответствующих стандартов. Наиболее перспективными направлениями стандартизации в этой области представляется разработка стандартов по упаковке и маркировке товаров, способствующих упрощению процессов сбора, сортировки и переработки отходов. Такие стандарты должны включать в себя требования к материалам упаковки, использованию перерабатываемых компонентов и маркировке, указывающей на возможность переработки и утилизации.

Одна из наиболее важных задач формирования эффективной системы рециклинга является создание прозрачных и действенных инструментов регулирования процессов взаимодействия экономических субъектов, задействованных в процессы сбора, транспортировки и переработки отходов. Развитие системы стандартизации в области ресурсосбережения должно быть направлено на регламентирование взаимоотношений таких субъектов, включая требования к инфраструктуре, технологиям и методам обработки разнообразных видов отходов. Кроме того, стандартизации подлежат процедуры повторного использования и переработки материалов, включающие критерии качества и безопасности вторичного сырья, а также процессов его производства и использования

Еще одним направлением совершенствования системы стандартизации ресурсосбережения, оказывающим влияние на развитие экономики замкнутого цикла, является сфера управления ресурсами и отходами на предприятии на основе управления жизненным циклом продукции. В частности, определенную коррекцию необходимо будет осуществить в отношении стандартов системы экологиче-

ского менеджмента, таких как ГОСТ Р ИСО 14044–2021 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации [11] и, возможно, расширить спектр примеров в ГОСТ Р 56269–2014 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Примеры применения ИСО 14044 к ситуациям воздействия [12] и ГОСТ Р 56270–2014 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Примеры использования ИСО 14044 для определения цели, области исследования и инвентаризационных анализов [13].

Более значительные изменения могут коснуться документов системы стандартизации устойчивого развития сообществ и устойчивого развития бизнеса. Эти изменения, в первую очередь, должны касаться необходимости формирования подходов к «ответственному» производству и «ответственному» потреблению и оценки уровня их развития.

Еще одним значимым аспектом совершенствования системы стандартизации является повышение уровня компетентности специалистов в области стандартизации. В целях обеспечения поступательного внедрения механизмов и инструментов экономики замкнутого цикла в практическую деятельность организаций необходимо задействовать инструменты непрерывного дополнительного

образования. В частности, целесообразно разработать программу повышения квалификации в области стандартизации экономики замкнутого цикла для специалистов и руководителей предприятий, ответственных за формирование и совершенствование систем управления организации и в области экологического менеджмента. Такая программа позволит на плановой системной основе обеспечить продвижение и внедрение принципов и подходов экономики замкнутого цикла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам анализа тенденций развития систем стандартизации в области экологического менеджмента, ресурсосбережения и устойчивого развития были определены перспективные направления развития системы стандартизации экономики замкнутого цикла. Выделены наиболее важные направления совершенствования систем стандартизации, связанные с процессами управления жизненным циклом продукции, регламентацией взаимодействия хозяйствующих субъектов по вопросам использования отходов производства и потребления, а также применения конкретных стратегий экономики замкнутого цикла при производстве ресурсоемких продуктов.

Список использованных источников и литературы

1. Европейская экономическая комиссия. Конференция европейских статистиков. Семьдесят первая пленарная сессия, Женева, 22–23 июня 2023 г.
2. L. Frodermann. Exploratory Study on Circular Economy Approaches. A Comparative Analysis of Theory and Practice, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, part of Springer Nature 2018 *Wirtschaftsethik in der globalisierten Welt*, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21949-9>.
3. Potting, J., et al., 2017. Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. Available at. <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
4. Walter R. Stahel. The Circular Economy: A User's Guide. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.4324/9780429259203> (дата обращения: 22.06.2024).
5. Дзидаханова М.А., Хачатуров А.О., Хачатурова Э.Э. Перспективы развития экономики замкнутого цикла в России. – Научный журнал «Управленческий учет». – 2021. – № 12.
6. Буцаев Д. Правительство вложит 9,4 млрд рублей в создание 8 экопромышленных парков на 11 346 рабочих мест // Российский экологический оператор. Дата публикации: 02.11.2022. URL: <https://reo.ru/tpost/sl0bxpces1-pravitelstvovlozhit-94-mlrd-rublei-v-so>
7. Дорохина Е.Ю., Кучер Д.Е., Харченко С.Г. Экономика замкнутых циклов: тенденции и перспективы: монография под ред. Е.Ю. Дорохиной. – М.: МАКС Пресс, 2023. – 128 с.
8. ГОСТ Р ИСО 14006–2022 «Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по включению экологических норм при проектировании» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/406522449> (дата обращения: 22.06.2024).
9. ГОСТ Р МЭК 62430–2023 «Экологический менеджмент. Проектирование с учетом экологических требований. Принципы, требования и руководство» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/407857881> (дата обращения: 22.06.2024).
10. ГОСТ Р 59779–2021 «Экологический менеджмент. Проектирование и разработка продукции с возможностью вторичной переработки. Основные положения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/403602926> (дата обращения: 22.06.2024).
11. ГОСТ Р ИСО 14044–2021 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/403173433> (дата обращения: 22.06.2024).

12. ГОСТ Р 56269–2014 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Примеры применения ИСО 14044 к ситуациям воздействия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/402072509> (дата обращения: 22.06.2024).
13. ГОСТ Р 56270–2014 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Примеры использования ИСО 14044 для определения цели, области исследования и инвентаризационных анализов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/402072697> (дата обращения: 22.06.2024)

PERSPECTIVES AND THE MAIN DIRECTIONS OF CIRCULAR ECONOMY STANDARTIZATION DEVELOPMENT

Antonov S.A., PhD (Economics), associate professor, the Dean of Faculty of Management and Engineering Business, the Head of Computer Modeling and Techno sphere safety Department, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Kazan

The article is devoted to the issues of ensuring the systematic and integrated development of the concept of a closed-loop economy based on standardization. The problem of formation and development of a closed-loop economy standardization system is important and relevant, due to increased requirements for environmental protection and rational use of resources. The creation of a system of standards for a closed-loop economy is designed to ensure the unity of approaches to the implementation of tasks in the field of ecology and resource conservation and to prevent the radicalization of economic and social relations in this area. In addition to solving the main task of forming the standardization of a closed-loop economy, the work contains proposals for the development of existing standardization systems, more or less related to the issues under consideration, such as environmental management, innovation management and sustainable development.

Keywords: standardization, economy, circular economy, ecology, resources safety, sustainable development.

For citation: Antonov S.A. Perspectives and the main directions of circular economy standartization development. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 81–87. (In Russ.).

References

1. Economic Commission for Europe. Conference of European Statisticians. Seventy-first Plenary Session, Geneva, 22–23 June 2023.
2. L. Frodermann, Exploratory Study on Circular Economy Approaches. A Comparative Analysis of Theory and Practice. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, part of Springer Nature 2018 Wirtschaftsethik in der globalisierten Welt, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21949-9>.
3. Potting, J., et al., 2017. Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. Available at. <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
4. Walter R. Stahel. The Circular Economy: A User's Guide. [Electronic resource]. Access mode: <https://doi.org/10.4324/9780429259203> (accessed: 06/22/2024).
5. Dzidakhanova M.A., Khachaturov A.O., Khachaturova E.E. Prospects for the Development of a Circular Economy in Russia. – Scientific journal «Management Accounting». – 2021, No. 12.
6. Butsaev, D. The government will invest 9.4 billion rubles in the creation of 8 eco-industrial parks for 11,346 jobs // Russian Ecological Operator. Publication date: 02.11.2022. URL: <https://reo.ru/tpost/sl0bxcpes1-pravitelstvo-vlozhit-94-mlrd-rublei-v-so>

7. Dorokhina E.Yu., Kucher D.E., Kharchenko S.G. Closed-loop economy: trends and prospects: monograph edited by E. Yu. Dorokhina. – Moscow: MAKS Press, 2023. – 128 p.
8. GOST R ISO 14006–2022 «Environmental management systems. Guidelines for the inclusion of environmental standards in the design» [Electronic resource]. – Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/406522449> (date of access: 22.06.2024).
9. GOST R IEC 62430–2023 «Environmental management. Design taking into account environmental requirements. Principles, requirements and guidance» [Electronic resource]. – Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/407857881> (date of access: 22.06.2024).
10. GOST R 59779–2021 «Environmental management. Design and development of products with the possibility of recycling. Basic provisions» [Electronic resource]. – Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/403602926> (date of access: 22.06.2024).
11. GOST R ISO 14044–2021 «Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and recommendations» [Electronic resource]. – Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/403173433> (date of access: 22.06.2024).
12. GOST R 56269–2014 «Environmental management. Life cycle assessment. Examples of application of ISO 14044 to impact situations» [Electronic resource]. – Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/402072509> (date of access: 22.06.2024).
13. GOST R 56270–2014 «Environmental management. Life cycle assessment. Examples of the use of ISO 14044 to determine the purpose, scope of research and inventory analyses» [Electronic resource]. – Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/402072697> (date of access: 06/22/2024).

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОГРАММ КОМПЛЕКСНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Антонов С.А., канд. экон. наук, доц., декан факультета менеджмента и инженерного бизнеса, заведующий кафедрой «Компьютерного моделирования и техносферной безопасности», Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова, г. Казань

Цифровизация, как и стандартизация, являются инструментами повышения эффективности экономики, и их интеграция позволит получить синергетический эффект, выражающийся, в первую очередь, в сокращении транзакционных издержек межорганизационного взаимодействия. В статье представлен и обоснован разработанный алгоритм формирования SMART-стандартов на системы управления за счет формирования машинопонимаемого контента на основе принципов и подходов общей логики. В статье обоснована практическая применимость SMART-стандартов системы стандартизации экономики замкнутого цикла для реализации автоматизированных систем управления, в первую очередь для стандартов перспективных программ комплексной стандартизации этапов жизненных циклов продукции и ресурсов. Разработана модель цифрового двойника процессов управления на основе SMART-стандартов, а также предложен алгоритм создания агрегированного цифрового двойника системы менеджмента организации экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова: SMART-стандарты, экономика замкнутого цикла, стандартизация, машинопонимаемый контент, цифровой двойник.

Цитирование: Антонов С.А. Формирование цифровой инфраструктуры реализации перспективных программ комплексной стандартизации экономики замкнутого цикла // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 88–94.

ВВЕДЕНИЕ

Перед экспертным сообществом в области стандартизации стоят актуальные задачи обеспечения цифровой трансформации процессов разработки, совершенствования и использования стандартов. Одним из механизмов решения данных задач является создание SMART-стандартов, которые позволят обеспечить автоматизацию анализа и разработки, а также разработки документов стандартизации.

Еще в 2021 году началась работа по созданию единой системы SMART-стандартизации в Российской Федерации – образован проектный технический комитет по стандартизации № 711 «Умные (SMART) стандарты» (ПТК 711).

Одним из первых результатов его работы стало создание предварительного национального стандарта ПНСТ 864-2023 «Умные (SMART) стандарты. Общие положения». Помимо основного стандарта ПТК 711, разработаны предварительные стандарты, посвященные классификации объектов

стандартизации в рамках SMART-стандартов, и стандарт «Архитектура и форматы данных».

Анализ показал наличие подходов и инструментов для создания SMART-стандартов и информационных систем, обеспечивающих их разработку, несмотря на предварительный характер представленных документов, а именно подходы к формированию SMART-стандартов носят универсальный характер, но большинство из них ориентированы на автоматизацию работы с техническими стандартами и стандартами на продукцию. Данная ситуация требует доработки алгоритмов создания SMART-стандартов с учетом специфики стандартов на системы менеджмента.

Таким образом, основная задача заключается в адаптации существующих подходов к разработке SMART-стандартов для их применения в области стандартов на системы менеджмента. Необходимо проработать соответствующие алгоритмы и инструменты с учетом особенностей этой предметной области.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

SMART-стандарты изначально были ориентированы на автоматизацию работы с техническими стандартами и стандартами на продукцию, что обусловлено необходимостью обеспечения полноценного функционирования цифровых двойников продуктов и технологических процессов.

Ключевым моментом является то, что SMART-стандарты позволяют автоматизировать процессы коррекции и обновления исходных требований цифровых двойников за счет перевода требований и параметров стандартов с естественного языка на машинопонимаемый формат. Это создает предпосылки для разработки цифровых документов нового уровня, содержащих как человеко-, так и машиноориентированные данные, что необходимо для закрытия всех потребностей автоматизации.

Вместе с тем, как было отмечено, большинство существующих подходов к формированию SMART-стандартов все еще ориентированы на технические стандарты и стандарты на продукцию. Это требует определенной доработки алгоритмов создания SMART-стандартов с учетом особенностей стандартов на системы менеджмента, что позволит расширить сферу применения данного инструмента. [1].

Переход от традиционной формы представления требований стандартов к SMART-формату требует определенной подготовки и включает три основных вида содержания: машиночитаемое, машиноинтерпретируемое и машинопонимаемое. Формирование машиночитаемого содержания относительно простое, но для создания машиноинтерпретируемого и машинопонимаемого необходимо развивать соответствующие информационные сервисы, а также предварительно разрабатывать таксономические единицы и онтологию.

Анализ информационных блоков и элементов позволил их сгруппировать по четырем целевым ориентирам: идентификация, связи, критерии соответствия с численным содержанием и критерии соответствия с семантическим содержанием. Рассмотрим более детально распределение структурных элементов по данным группам.

I группа. Идентификация.

1. Информационные блоки: атрибуты, сведения об электронных подписях.
2. Информационные элементы: атрибут, электронная подпись.

II группа. Связи.

1. Информационные блоки: сопутствующие данные, нормативные ссылки, оглавление, библиографические данные.

2. Информационные элементы: структурный элемент, гиперссылка, ссылка на объект, ссылка на элемент классификатора.

III группа. Критерии соответствия с численным содержанием.

1. Информационные блоки: текст, основные нормативные положения, приложения.
2. Информационные элементы: таблица, графическое изображение (2D), формула (математическая, химическая и др.), 3D-модель, база данных, файл, программный исполняемый код, показатель, параметр показателя.

IV группа. Критерии соответствия с численным содержанием.

1. Информационные блоки: текст, титульный лист, предисловие, введение, область применения, термины и определения, основные нормативные положения, приложения, условия использования.
2. Информационные элементы: термин, сокращение, абзац, список, перечисление, таблица, файл, нормативное положение.

Формирование цифровых двойников на основе информационных структур SMART-стандартов, приведенных в цифровой форме, не вызывает особых сложностей в силу однозначности их трактовки. В случае решения задач формирования автоматизированных систем принятия управленческих решений, основанных на выполнении требований стандартов на системы менеджмента, возникает проблема трансформации семантических единиц в машиночитаемый формат. Отдельный интерес представляет концепт формирования машиночитаемых и машиноисполняемых норм права, обобщенный в работе Понкина И.В. [6]. В его статье, посвященной анализу направлений цифровых трансформаций в праве и элементов регуляторных технологий LegalTech (цифровых технологий в сфере права – PerTex или ЮpTex), предложены «детерминанты обеспечения машиночитаемости права в предназначенном для машиночитаемого и машиноисполняемого оперирования правовом акте». Такими детерминантами являются:

1. Повышенная четкость логической структуры и логическая разграниченность норм и частей акта, что в свою очередь подразумевает четкое выделение и организацию различных норм и частей правового акта, а также ясное определение иерархических и иных взаимосвязей между ними. Такая структура облегчает автоматическую обработку и интерпретацию правовых документов.
2. Наличие мета-разметки. Это включает использование тегов и аннотирования, которые помогают структурировать и формализовать правовой текст. Мета-разметка облегчает процесс машинного анализа, делая текст более доступным для алгоритмов обработки данных. При-

меры мета-разметки включают нумерацию, теги для выделения различных типов информации и другие элементы, которые добавляют дополнительный уровень структуры к документу.

3. Семантическая шаблонизация норм. Этот аспект предполагает использование типовых шаблонов и паттернов для выражения правовых норм. Придерживание правил коротких лексических конструкций и форм помогает сделать текст более предсказуемым и структурированным, что упрощает его автоматическую обработку. Инженерный стиль письма, характеризующийся точностью и краткостью, является предпочтительным в этом контексте.
4. Минимизированность бланкетных норм и абстрактно-декларативных норм. Это означает стремление к минимизации использования норм, которые требуют отсылок к другим документам или носят слишком общий характер. Такие нормы часто затрудняют автоматическую интерпретацию, поэтому их количество должно быть сведено к минимуму.

Все вышеперечисленные детерминанты справедливы и для разработки SMART-стандартов с учетом особенностей процессов стандартизации. Такие особенности были выявлены на основе анализа предложенных детерминант и их сопоставления с правилами разработки стандартов (ГОСТ Р 1.2–2020), существующими подходами к созданию документов стандартизации, структурной формализацией стандартов на основе «структуры высокого уровня» (HLS), а также применения декларативной семантики семейства языков общей логики. После трансформации вышеуказанные детерминанты обеспечения машиночитаемости и машиноисполняемого оперирования будут иметь следующий вид:

- повышенная четкость логической структуры и логическая разграниченность норм и частей стандарта на основе структуры высокого уровня HLS (High-Level Structure), что подразумевает четкое разделение и организацию различных частей и норм стандарта, что облегчает их интерпретацию и автоматизированную обработку;
- семантическая шаблонизация требований на основе правил общей логики и методик, учитывая метамодель абстрактного синтаксиса общей логики. Это включает использование типовых шаблонов и паттернов для формулировки требований, что делает их более структурированными и предсказуемыми для машинной обработки;
- максимально краткое и точное изложение требований, исключающее различные толкования и достаточное для использования стандарта в соответствии с его областью применения. Это важно для обеспечения однозначности и понятности сформулированных норм и требований;
- минимизированность бланкетных норм с учетом сохранения гибкости исходного стандарта. Это означает сокращение использования общих и абстрактных

норм, которые могут быть трудны для автоматической интерпретации, однако сохранение гибкости позволяет стандарту адаптироваться к различным контекстам и изменениям.

Кроме того, необходимо сделать акцент на важности создания инструментальной онтологии и форматов представления информации на основе специально разрабатываемого лексикона, на основе гибридизации синтаксиса общей логики и специального метаязыка экономики замкнутого цикла (с мета-данными и с управленческо-техническими конструкциями в формализованно-цифровизированных онтологиях). Гибридизацию синтаксиса целесообразно осуществлять, последовательно применяя метамодель абстрактного синтаксиса общей логики к словарю и он-

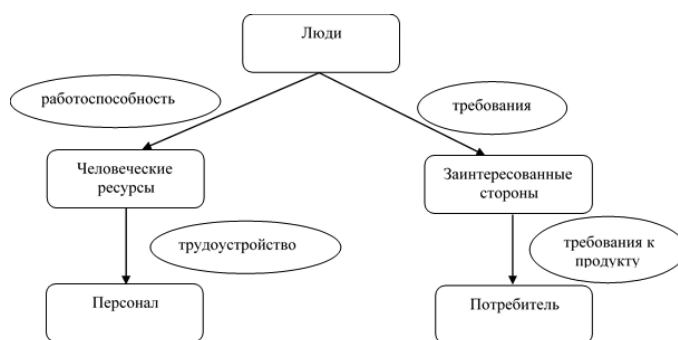


Рис. 1. Пример формирования словаря общей логики для SMART-стандартов на системы менеджмента

тологии систем менеджмента. Исходной базой является так называемый лексикон, который в определении стандарта ГОСТ Р 59791–2021 «Информационные технологии. Общая логика (CL). Основы семейства языков, основанных на логике» [2], является набором имен (т.е. словарем лексикона), набором маркеров последовательности и набором заголовков. В качестве источника данной базы целесообразно выбрать основные определения и термины ИСО 9000–2015 [3]. В качестве примера необходимости создания такого словаря можно проанализировать термин «человеческие ресурсы» из ИСО 9000–2015.

На основании представленного примера видна необходимость реверсной декомпозиции терминов и понятий для формирования общего словаря V , на основании которого формулируются соответствующие термины как вне дискурса, так и в рамках дискурса экономики замкнутого цикла. Дальнейший процесс формирования машинопонимаемого контента направлен на построение выражений и утверждений.

Алгоритм создания машинопонимаемого контента представлен на рис. 2.

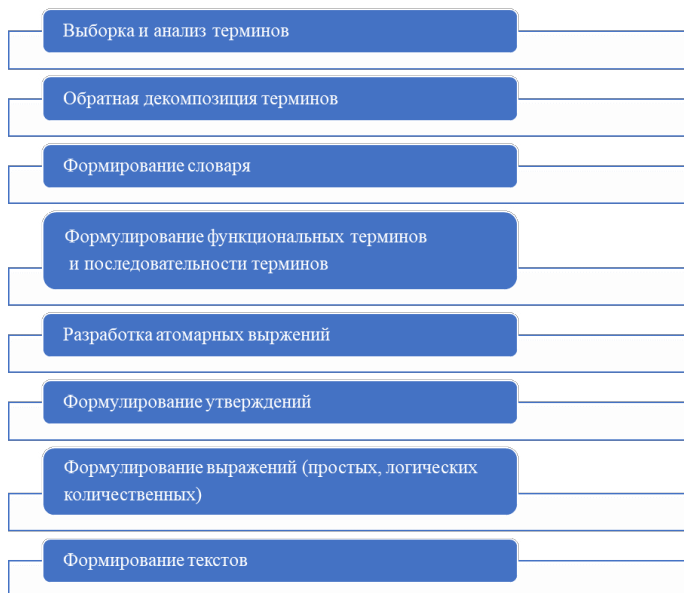


Рис.2. Алгоритм создания машинопонимаемого контента

SMART-стандарты играют ключевую роль в автоматизации систем управления, особенно в контексте экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ). Оценку применимости целесообразно провести с учетом специфики стандартов соответствующих программ стандартизации. Наиболее применимыми для практической реализации автоматизированных систем управления представляются стандарты перспективных программ комплексной стандартизации этапов жизненных циклов продукции и ресурсов. В первую очередь это касается стандартов, регламентирующих процессы проектно-производственного этапа жизненного цикла продукции. Применение SMART-стандартов для автоматизации процессов проектирования и разработки технологий производства продукции обосновывается рядом специалистов. В то же время стандарты на системы управления, в отличие от стандартов продукции, в большинстве своем не содержат количественных параметров, формализация и перевод в машинопонимаемый вид которых позволяет автоматизировать отдельные этапы процессов проектирования. Данные обстоятельства, в свою очередь, требуют коррекции области применения таких SMART-стандартов. Автор считает, что SMART-стандарты ЭЗЦ должны быть предназначены для автоматизации процессов планирования, организации и контроля проектирования и, в частности, автоматизации формирования технического задания на проектирование продукции с учетом требований экономики замкнутого цикла, анализа и верификации проектов.

Перспективные программы комплексной стандартизации для различных этапов жизненного цикла продукции в рамках экономики замкнутого цикла предлагают разнообразные применения SMART-стандартов, ориентированные

на автоматизацию процессов и повышение эффективности управления.

Применение SMART-стандартов на каждом этапе жизненного цикла продукции позволяет обеспечить точное и эффективное управление процессами, автоматизировать ключевые операции и улучшить мониторинг и контроль над достижением целей, связанных с экономикой замкнутого цикла.

Автор систематизировал основные проблемы, с которыми сталкиваются экономические субъекты на этапе цифровой трансформации:

- разнородность классификационных признаков объекта стандартизации;
- несоответствие общероссийских и внутренних классификаторов нормативным документам;
- несоответствие наименований объекта стандартизации терминологии из нормативных документов;
- отсутствие согласованности наименований характеристик объекта стандартизации;
- отсутствие однозначного понимания обязательности и набора характеристик объекта стандартизации;
- отсутствие однозначного применения единиц измерения характеристик объекта стандартизации;
- нарушение или отсутствие связей с общероссийскими классификаторами;
- трудоемкость создания и ведения справочников нормативно-справочной информации (НСИ);
- отсутствие методологии формирования и управления объектом стандартизации [5].

Обобщая выше сказанное, автором предложено использовать возможности эмуляции системы управления организацией замкнутого цикла в виде цифрового двойника. Для целей настоящего исследования под цифровым двойником системы менеджмента будем понимать программный (виртуальный) аналог системы реальных процессов организации, воспроизводящий ее структуру, состояние, а также динамику изменения во времени.



Рис. 3. Взаимодействие элементов цифрового двойника системы менеджмента организации

При формировании цифрового двойника системы менеджмента определим значимые взаимодействующие элементы операционного пространства в котором такая система существует:

$$S_{t+1} = f(S_t, U, E, D) \tag{1}$$

- система менеджмента как объект управления;
- органы управления организацией как субъект управления;
- среда функционирования процессов как набор внешних факторов оказывающих влияние на организацию;
- помехи, деструктивные воздействия, несоответствия как внутренние слабые стороны организации.

$$U_{t+1} \triangleq F\left[S_{t_i} \xrightarrow[\Delta t]{R} S_{t_{i+1}}, K_{t_i}\right] \tag{2}$$

Взаимодействие указанных элементов представлено на рис. 3.

Состояние системы менеджмента S_{t+1} является функцией от первичного состояния S_t , соответствующего управляющего воздействия U с учетом состояния внешней среды E и влияния помех D .

Управляющее воздействие U должно учитывать как первичное состояние системы S_t , так и влияние внешних факторов E и внутренних деструктивных воздействий D . Ограничениями перехода системы менеджмента в новое состояние являются ресурсы R и временной отрезок изменений Δt .

$$S_{t_i} = f\left(\sum_{j=1}^N \alpha^j * s_{t_i}^j\right) \tag{3}$$

$$P_{t_i} = f\left(\sum_{j=1}^N \beta^j * p_{t_i}^j\right) \tag{4}$$

Управляющее воздействие в таком случае, согласно работе [4], будет выглядеть следующим образом:

где «параметр $K_{t_i} = (I(S_{t_i}), I(E_{t_i}), I(D_{t_i}), I(U_{t_i}))$ » представляет собой объективизированные знания, накопленные к моменту времени t_i (в цифровых двойниках – информационных контейнерах знаний) как результат субъективной интерпретации $I(\cdot)$ сведений о состоянии объекта управления S_{t_i} операционной среды E_{t_i} , (возможного) злонамеренного воздействия и самого органа управления U_{t_i} » [4].

Целесообразно представить состояние объекта управле-

$$U_{t_i} = U_{t_i}^{in} \cup U_{t_i}^{out} \tag{4.5}$$

ния (системы менеджмента) в виде функциональной зависимости от взвешенной суммы состояний отдельных процессов организации (3).

В качестве цифрового двойника состояния системы в данном случае целесообразно выбрать интегрированную математическую модель, описывающую функциональную зависимость конечного результата деятельности организации, описываемого такими показателями как выработка, прибыль или рентабельность, от значений критериев результативности отдельных процессов системы менеджмента (4).

В свою очередь множество управляющих воздействий в конкретный период времени целесообразно классифицировать по основанию влияния на внешние или внутренние

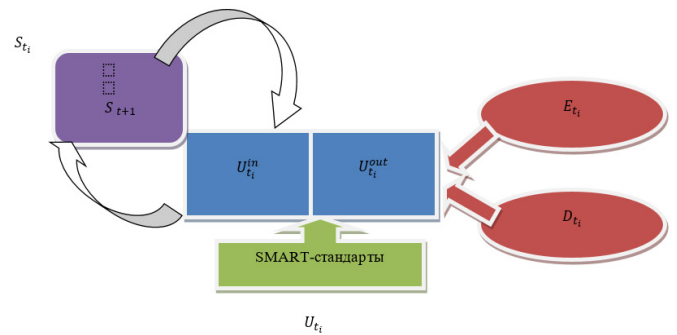


Рис. 4. Модель цифрового двойника процессов управления на основе SMART-стандартов

факторы относительно системы.

Управляющее воздействие $U_{t_i}^{out}$ направлено на минимизацию влияния негативных факторов операционной среды E_{t_i} и помех (деструктивного воздействия) внутренней среды D_{t_i} , а также на максимизацию положительных факторов операционной среды E_{t_i} . Управляющее воздействие направлено на трансформацию зависимости (3) в целях максимизации конечного результата.

Применение SMART-стандартов для формирования цифрового двойника процессов управления возможно в качестве прообраза управленческого воздействия, действенность которого можно будет оценить посредством определения максимального результата при минимальных уровнях негативного влияния внешних и внутренних факторов.

Использование цифровых двойников для решения ключевых задач в управлении и оптимизации процессов экономики замкнутого цикла позволяет добиться значительных преимуществ. Основные задачи, решаемые посредством цифровых двойников, включают:

1. Проведение тестового запуска процесса или производственной цепочки быстро и без существенных вложений: цифровые двойники позволяют создать виртуальную модель производственной цепочки или процесса, что позволяет проводить тестовые запуски и оптими-

- зации без необходимости реальных вложений в физическую инфраструктуру. Это ускоряет внедрение новых технологий и процессов.
2. Обнаружение проблемы или уязвимости до того, как будет запущено производство или объект поступит в эксплуатацию: цифровые двойники могут моделировать различные сценарии и выявлять потенциальные проблемы или уязвимости на ранних стадиях разработки. Это позволяет своевременно вносить коррективы и предотвращать возможные сбои в будущем.
 3. Повышение эффективности процессов или систем, отследив все сбои еще до старта: с помощью цифровых двойников можно анализировать и оптимизировать процессы, устраняя узкие места и повышая общую эффективность системы. Это включает в себя анализ потоков материалов, энергии и информации для достижения максимальной производительности.
 4. Снижение рисков, в том числе финансовых, а также связанных с безопасностью для жизни и здоровья персонала: цифровые двойники позволяют провести детализированный анализ рисков и разработать стратегии их минимизации. Это включает в себя оценку финансовых рисков, а также оценку безопасности для персонала, что помогает создать более безопасные и экономически эффективные рабочие условия.
 5. Строительство долгосрочных прогнозов и планирование развития компании или продукта на годы вперед: используя данные, полученные от цифровых двойников, компании могут разрабатывать долгосрочные прогнозы и стратегические планы. Это позволяет учитывать различные сценарии развития и адаптироваться к изменениям на рынке и в технологии.
- Эти задачи помогают компаниям не только улучшать текущие процессы и продукты, но и обеспечивают устойчивое развитие и конкурентное преимущество в долгосрочной перспективе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало практическую применимость SMART-стандартов системы стандартизации экономики замкнутого цикла для реализации автоматизированных систем управления, в первую очередь для стандартов перспективных программ комплексной стандартизации этапов жизненных циклов продукции и ресурсов. Разработана модель цифрового двойника процессов управления на основе SMART-стандартов, а также предложен алгоритм создания агрегированного цифрового двойника системы менеджмента организации замкнутого цикла.

Список использованных источников и литературы

1. «Техэксперт»: SMART-стандарты – основа для создания цифровых двойников // СФЕРА. НЕФТЬ И ГАЗ. – 2022. – № 3 (86). – с. 20–24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://сферанефтьигаз.рф/upload/articles/pdf/sphereoilandgas_2022-3_kodeks.pdf
2. ГОСТ Р 59791–2021 «Информационные технологии. Общая логика (CL). Основы семейства языков, основанных на логике» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/405973375> (дата обращения: 10.06.2024).
3. ГОСТ Р ИСО 9000–2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/71283064> (дата обращения: 10.06.2024).
4. Каменик Л.Л. Генеральные направления стратегии управления отходами // Экономика и управление. – 2013. – № 12 (9b). – С. 63.
5. ПНСТ 864–2023 Умные (SMART) стандарты. Общие положения.
6. Понкин И.В. Концепт машиночитаемого и машиноисполняемого права: актуальность, назначение, место в PerTехе, содержание, онтология и перспективы // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – № 9.

FORMATION OF DIGITAL INFRASTRUCTURE FOR THE IMPLEMENTATION OF PROSPECTIVE PROGRAMS OF COMPREHENSIVE STANDARDIZATION OF THE CLOSED-LOOP ECONOMY

Antonov S.A., PhD (Economics), associate professor, the Dean of Faculty of Management and Engineering Business, the Head of Computer Modeling and Technosphere safety Department, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Kazan

Digitalization, like standardization, are tools for increasing the efficiency of the economy, and their integration will allow obtaining a synergistic effect, expressed, first of all, in reducing transaction costs of interorganizational interaction. The article presents and substantiates the developed algorithm for the formation of SMART standards for management systems by forming machine-understandable content based on the principles and approaches of general logic. The article substantiates the practical applicability of SMART standards of the closed-loop economy standardization system for the implementation of automated management systems, primarily for standards of promising programs for comprehensive standardization of stages of product and resource life cycles. A model of a digital twin of management processes based on SMART standards has been developed, and an algorithm for creating an aggregated digital twin of the management system of a closed-loop economy organization has been proposed.

Keywords: SMART standards, circular economy, standardization, machine-readable content, digital twin.

For citation: Antonov S.A. Formation of digital infrastructure for the implementation of prospective programs of comprehensive standardization of the closed-loop economy. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 88–94. (In Russ.).

References

1. «TechExpert»: SMART standards - the basis for creating digital twins // SPHERE. OIL AND GAS. – 2022. – № 3 (86). – Pp. 20–24. [Electronic resource]. Access mode: https://сферанефтегаз.рф/upload/articles/pdf/sphereoilandgas_2022-3_kodeks.pdf
2. GOST R 59791–2021 «Information technology. General logic (CL). Fundamentals of the family of logic-based languages» [Electronic resource]. Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/405973375> (date of access: 10.06.2024).
3. GOST R ISO 9000–2015 «Quality management systems. Fundamentals and vocabulary» [Electronic resource]. Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/71283064> (date of access: 10.06.2024).
4. Kamenik L.L. General directions of waste management strategy // Economy and management. – 2013. – No. 12 (9b). – P. 63.
5. PNST 864-2023 Smart (SMART) standards. General provisions.
6. Ponkin I.V. The concept of machine-readable and machine-executable law: relevance, purpose, place in RegTech, content, ontology and prospects // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – No. 9.