

Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования

03–04/2023

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ
СИСТЕМ МЕЖОТРАСЛЕВЫМИ
КОМПЛЕКСАМИ СТАНДАРТОВ**

**КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ
КАЧЕСТВА
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**ФОРМИРОВАНИЕ
БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ
АРХИТЕКТУР**



iea.gostinfo.ru

ИНФОРМАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

3-4/2023 (73)

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 25.10.2023.
Дата опубликования на сайте журнала
iea.gostinfo 25.10.2023.

Формат 60 × 90 1/8.
Усл. печ. л. 6,25.



СВЕДЕНИЯ О РЕЦЕНЗИРУЕМОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ

ДАТА СОЗДАНИЯ 11.05.2011

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

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАНДАРТНЫЙ
НОМЕР СЕРИАЛЬНОГО ИЗДАНИЯ
(ISSN) 2311-1348

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

БУДКИН Ю.В.

председатель, главный редактор журнала, советник генерального
директора ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук,
профессор

БУРЫЙ А.С.

заместитель председателя, заместитель начальника отдела научной
деятельности ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

БЕТАНОВ В.В.

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

ГЕРАСИМОВА Е.Б.

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

ЖУРАВЛЕВА Т.Б.

ученый секретарь ФГБУ «НИЦИ» МИД России,
доктор экономических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт
стандартизации»

ЗВОРЫКИНА Т.А.

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

ЛЫСЕНКО И.В.

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

МИСТРОВ Л.Е.

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

СТРЕХА А.А.

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

СУХОВ А.В.

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

ХАЧАТУРЯН А.А.

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

ШВЕДЕНКО В.Н.

ведущий научный сотрудник ФГБУН ВИНТИ РАН,
доктор технических наук, профессор, главный специалист ФГБУ «Институт
стандартизации»

Содержание 3–4/2023 (73)

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ МЕЖОТРАСЛЕВЫМИ КОМПЛЕКСАМИ СТАНДАРТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ УПРАВЛЕНИЯ.

Часть 3. Системы автоматизированного проектирования

Будкин Ю.В.

4

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОСНОВЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА «УПРАВЛЕНИЕ ПРЕТЕНЗИЯМИ»

Глебова Е.В., Попович Д.А.

10

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ

КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Бурый А.С., Морин Е.В.

19

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Будкин Ю.В., Сергеичев И.В., Карамов Р.И.

27

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ (ТРЕНАЖНЫХ) ЗАДАЧ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Мистров Л.Е., О.В. Поляков

33

ФОРМИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Шевкунов М.А.

42

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ МЕЖОТРАСЛЕВЫМИ КОМПЛЕКСАМИ СТАНДАРТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ УПРАВЛЕНИЯ

Часть 3. Системы автоматизированного проектирования

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

В статье представлены результаты исследований межотраслевых систем и комплексов стандартов с целью их актуализации и использования для обеспечения информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоемкой техники. Третья часть посвящена системам автоматизированного проектирования, устанавливающим правила выполнения процессов проектирования на стадиях жизненного цикла наукоемкой техники, инженерного анализа и управления техническими документами и данными. Обоснована целесообразность увязки стандартов САПР с Единой системой стандартов автоматизированных систем управления (ЕСС АСУ 24) и Комплексов стандартов на информационные технологии (КСАС 34).

Применение действующих стандартов организациями и предприятиями оборонно-промышленного комплекса требует весьма серьезной доработки и терминологической увязки с действующими стандартами комплексов ЕСС АСУ 24 и КСАС 34. Основой для гармонизации стандартов САПР и комплексов могут быть разработанные в последние десятилетия стандарты ИСО в области компьютерного моделирования, устанавливающие правила выполнения процессов проектирования на стадиях ЖЦ изделий, инженерного анализа и управления техническими документами и данными. Это позволит отказаться от изготовления физических (материальных) макетов, а в некоторых случаях – и технической документации, перейдя на новый технологический уровень в проектных работах – работу непосредственно с различными видами данных об изделии на протяжении его жизненного цикла

Ключевые слова: информационные системы и процессы, машиностроение, стандарт, автоматизированная система управления, система автоматизированного проектирования.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АСУ – автоматизированная система управления

ДЭ – документ электронный

ЕСКД – Единая система конструкторской документации

ЕСТД – Единая система технологической документации

ЕСПД – Единая система программной документации

ЕСС АСУ – Единая система стандартов автоматизированных систем управления

ЖЦИ – жизненный цикл изделия

CALS (ИПИ) – информационная поддержка жизненного цикла изделий

ИТ – информационная технология

КД – конструкторская документация

НД – нормативный документ (нормативная документация и национальных стандартов машиностроения и приборостроения)

САПР – Система автоматизированного проектирования

СРПП – Система разработки и постановки продукции на производство

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ЭД – эксплуатационный документ (эксплуатационная документация)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время комплекс стандартов «Системы автоматизированного проектирования» фактически состоит из 4 стандартов:

- ГОСТ 23501.101 Системы автоматизированного проектирования. Основные положения;

- ГОСТ 23501.108 Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение и примыкающие к ним;
- ГОСТ Р 70290–2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Термины и определения;
- ГОСТ Р 59988.00.0–2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Общие положения.

Комплекс стандартов «Системы автоматизированного проектирования» задумывался в конце 70-х годов прошлого века как всеобъемлющий комплекс взаимоувязанных межотраслевых документов. Объектами стандартизации должны были являться различные САПР отраслей машиностроения, приборостроения и строительства, а также все виды их компонентов.

ГОСТ 23501.101 выпущен взамен шести стандартов: ГОСТ 23501.0–79, ГОСТ 23501.4–79, ГОСТ 23501.9–80, ГОСТ 23501.13–81, ГОСТ 23501.16–81, ГОСТ 23501.17–82. Изначально они представляли некое подобие системы, но после замены на ГОСТ 23501.101 система по сути перестала существовать.

Система САПР восстановилась в 2022 г. принятием семи стандартов в области электронной компонентной базы – ГОСТ Р 59988.00.0–2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Общие положения.

Комплекс стандартов по техническим характеристикам электронных компонентов представляет собой совокупность отдельно издаваемых стандартов ГОСТ Р 59988.02/03/04–2022. Эти стандарты относятся к одной из тематических групп: «Спецификации декларативных знаний» либо «Перечень технических характеристик». Стандарты комплекса могут принадлежать как ко всем электронным компонентам, так и к отдельным группам объектов стандартизации.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Стандарты распространяются на САПР, создаваемые в проектных, конструкторских и технологических организациях, научно-производственных объединениях, предприятиях (далее – организациях) отраслей промышленности, и устанавливают общие положения, основные принципы создания, состав и структуру САПР, представляющих собой важное прикладное направление развития информационных технологий, анализ которых начат автором в первых частях данной серии работ [1, 2], а также требования к компонентам видов обеспечения [3–6].

САПР определен как организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП), причем взаимодействие подразделений проектной организации с комплексом средств автоматизации проектирования регламентируется организационным обеспечением.

Основная функция САПР определена как выполнение автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей.

В отличие от многих других стандартов той поры, это был громадный шаг вперед, поскольку он связывал САПР с проектированием изделий, а не с разработкой документации, как до сих пор осталось в системах ЕСКД, ЕСТД, СРПП и других.

Стандарт устанавливал, что при создании САПР и их составных частей следует руководствоваться следующими основными принципами:

- системного единства, который должен обеспечивать целостность системы и системную связность проектирования отдельных элементов и всего объекта проектирования в целом (иерархичность проектирования);
- совместимости, который должен обеспечивать совместное функционирование составных частей САПР и сохранять открытую систему в целом;
- типизации, который должен был заключаться в ориентации на преимущественное создание и использование типовых и унифицированных элементов САПР. Было установлено, что типизации подлежат элементы, имеющие перспективу многократного применения, при этом предусматривалось, что типовые и унифицированные элементы периодически проходят экспертизу на соответствие современным требованиям САПР и модифицируются по мере необходимости;
- развития, который должен был обеспечивать пополнение, совершенствование и обновление составных частей САПР, а также взаимодействие и расширение взаимосвязи с автоматизированными системами различного уровня и функционального назначения.

Составные структурные части САПР зачем-то были жестко связаны с организационной структурой проектной организации, и определено, что ими являются подсистемы, в которых при помощи специализированных комплексов средств решается функционально законченная последовательность задач САПР.

По назначению подсистемы были разделены на проектирующие и обслуживающие.

Предполагалось, что проектирующие подсистемы имеют объектную ориентацию и реализуют определенный этап (стадию) проектирования или группу непосредственно связанных проектных задач.

Примерами проектирующих подсистем определены:

- подсистема эскизного проектирования;
- подсистема проектирования корпусных деталей;
- подсистема проектирования технологических процессов механической обработки.

В свою очередь предполагалось, что обслуживающие подсистемы имеют общесистемное применение и обеспечивают поддержку функционирования проектирующих подсистем, а также оформление, передачу и выдачу полученных в них результатов. Примерами обслуживающих подсистем являются:

- автоматизированный банк данных;
- подсистема документирования;
- подсистема графического ввода/вывода.

Еще одним положительным моментом являлось, что системное единство САПР обеспечивается наличием комплекса взаимосвязанных моделей, определяющих объект проектирования в целом, при этом появилось понятие информационной модели объекта проектирования (т. е. то, к чему пришло ИСО в начале 90-х прошлого века).

Системное единство внутри проектирующих подсистем обеспечивается наличием единой информационной модели той части объекта, проектное решение по которой должно быть получено в данной подсистеме.

Также было предусмотрено, что комплексы средств проектирования могут объединять свои вычислительные и информационные ресурсы, образуя локальные вычислительные сети подсистем или систем в целом.

Стандарт устанавливал перечень структурных частей комплексов средств как компонентов следующих видов обеспечения: программного, информационного, методического, математического, лингвистического, технического.

При этом компоненты видов обеспечения выполняют в комплексах средств заданную функцию и представляют наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый (или покупной) элемент САПР (например, программа, инструкция, дисплей и т. д.).

ГОСТ 23501.108 устанавливает метод и признаки классификации, основные классификационные группировки, правила обозначения САПР и распространяется на САПР и их подсистемы, создаваемые в проектных организациях, на предприятиях и объединениях отраслей машиностроения, приборостроения и строительства.

Для классификации САПР использован фасетный метод классификации, при этом установлены следующие признаки классификации САПР:

- тип объекта проектирования;
- разновидность объекта проектирования;
- сложность объекта проектирования;
- уровень автоматизации проектирования;
- комплексность автоматизации проектирования;
- характер выпускаемых документов;
- количество выпускаемых документов;
- количество уровней в структуре технического обеспечения.

По каждому признаку установлены классификационные группировки САПР, такие как:

- САПР изделий машиностроения (для проектирования изделий машиностроения);
- САПР изделий приборостроения (для проектирования изделий приборостроения, включая изделия радиоэлектроники);
- САПР технологических процессов в машиностроении и приборостроении (САПР для проектирования технологических процессов в машиностроении и приборостроении);
- САПР объектов строительства (для проектирования объектов строительства);
- САПР технологических процессов в строительстве (для проектирования технологических процессов в строительстве);
- САПР программных изделий (для проектирования программных средств, управляющих программ для станков с ЧПУ, роботов и т. п.);
- САПР организационных систем (для проектирования организационных систем).

Предусматривалось, что код и наименование классификационной группировки по признаку «Разновидность объекта проектирования» определяется по действующим классификаторам на объекты проектирования:

- для САПР изделий машиностроения и приборостроения – по классификатору ЕСКД или Общесоюзному классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции (ОКП);
- для САПР технологических процессов в машиностроении и приборостроении – по классификатору технологических операций в машиностроении и приборостроении или то отраслевым классификаторам;
- для САПР объектов строительства и САПР технологических процессов в строительстве – по отраслевым классификаторам.

ГОСТ Р 59988.00.0–2022 устанавливает требования к структуре информационного обеспечения автоматизированного проектирования в технологической подготовке производства. Единые требования к информационному обеспечению были разработаны с целью обеспечения информационной совместимости системы автоматизированного проектирования в процессе ее разработки и функционирования и снижения трудоемкости разработки системы автоматизированного проектирования путем унификации состава и способов представления информации.

При создании информационного обеспечения была заявлена необходимость выполнения следующих работ: определение структуры фонда информации; определение структурных моделей объектов информации; подготовка информации к переносу на машинные носители; формирование информационных массивов на машинных носителях; ведение информационных массивов и внесение изменений.

Предусматривалось, что подготовка информации к переносу на машинные носители, формирование информационных массивов на машинных носителях, ведение информационных массивов и внесение изменений должны соответствовать требованиям ГОСТ 14.408–74.

В стандарт введено понятие фонда информации, состоящего из следующих ее видов: оперативной информации; условно-постоянной и постоянной, и указано, что фонд информации создается в процессе разработки САПР и дополняется в процессе ее функционирования. Конечно, классификация и определения видов информации рудиментарные, эпохи СМ ЭВМ и ЕС ЭВМ, ориентированные на пакетный ввод данных, перфокарты и внешние съемные диски. Определялось, что оперативная информация содержит сведения об условиях решения задачи автоматизированного проектирования.

Условно-постоянная информация же является такой частью сведений, что ее изменения и дополнения входят в функции системы и не влияют на функциональные возможности САПР. По сути, это близко к тому, что сейчас принято называть нормативно-справочной информацией (НСИ). К НСИ были отнесены сведения о предмете производства; сведения о средствах производства; сведения о процессе производства и сведения о продукте производства.

К сведениям о предмете производства отнесены чертежи заготовок; государственные и отраслевые стандарты на материалы и сортамент; нормы расхода материалов; нормативы на выбор припусков; прейскуранты цен на материалы и т. д.

К сведениям о средствах производства отнесены каталоги, номенклатурные справочники и государственные и отраслевые стандарты на средства технологического оснащения; прейскуранты цен на средства технологического оснащения; технологические планировки производственных подразделений и т. д.

К сведениям о процессе производства отнесены: государственные и отраслевые стандарты, руководящие документы на технологические процессы; описания прогрессивных методов обработки; документация на действующие технологические процессы по видам обработки; материалы по выбору технологических нормативов, режимов обработки и т. п.

К сведениям о продукте производства отнесены чертежи изделий; технические требования на изделия; прейскуранты цен на изделия и т. д.

ВЫВОДЫ

Стандарты САПР устарели. За это время технические средства сделали технологический рывок, также произошли кардинальные изменения как в технологии, так и в идеологии проектирования, что в стандартах САПР практически не отражено. По сути, как таковой системы стандартов «Системы автоматизированного проектирования» (именно как системы) сейчас не существует. Оставшиеся действующие стандарты никакого влияния на установление нормативных и технических требований, обеспечивающих осмысленную взаимную увязку видов деятельности при проектировании, основное назначение которых состоит в установлении единых требований, правил, норм (далее требований) к выполнению, оформлению и обращению проектной и рабочей конструкторской информации, документов и данных на всех стадиях и этапах ЖЦИ.

Действующие стандарты в принципе ориентированы на разработчиков САПР, и по идее, при их актуализации можно было бы увязать их со стандартами систем 24 и 34. Однако возникает вопрос, нужно ли это делать: САПР есть разновидность автоматизированной системы и вопросы его создания вполне могут (и должны!) регламентироваться в рамках системы стандартов на АС. Исходя из этого, считаем, что в принятой постановки области действия они попросту не нужны.

Применение действующих стандартов организациями и предприятиями оборонно-промышленного комплекса требует весьма серьезной доработки и терминологической увязки с действующими стандартами комплекса КСАС 34 системы, в части документирования – со стандартами системы 19, что с учетом вышесказанного сводит их ценность к нулю.

Таким образом, считаем целесообразным преобразовать систему стандартов САПР, исходя из установления новой области применения. Основой могут быть разработанные

в последние десятилетия стандарты ИСО в области компьютерного моделирования, устанавливающие правила выполнения процессов проектирования на стадиях ЖЦ изделий, инженерного анализа и управления техническими документами и данными. Особо тщательно следует отразить в новых стандартах вопросы проверки и приемки результатов компьютерного проектирования, опять-таки опираясь на международно принятые практики и правила ИСО по верификации и валидации результатов, полученных из систем моделирования. Представляется, что такая система стандартов в об-

ласти САПР была бы очень востребованной, т.к. позволяла бы легитимно осуществлять проверку соответствия результатов проектирования исходным требованиям непосредственно в системах проектирования и в некоторых случаях действительно отказаться от изготовления физических (материальных) макетов, а в некоторых случаях – и технической документации, перейдя на новый технологический уровень в проектных работах – работу непосредственно с различными видами данных об изделии на протяжении его ЖЦ.

Список использованных источников и литературы

1. Будкин Ю.В. Обеспечение информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоемкой техники межотраслевыми комплексами стандартов. Часть 1. Единая система стандартов автоматизированных систем управления // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 1 (71). С. 30–34.
2. Будкин Ю.В. Обеспечение информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоемкой техники межотраслевыми комплексами стандартов. Часть 2. Система «Информационные технологии» // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 2 (72). С. 4–13.
3. Баранов Д.А., Будкин Ю.В., Миронов А.Н., Ниязова Ю.М. Совершенствование процесса создания наукоемких изделий ракетно-космического машиностроения на основе перехода к платформенному риск-ориентированному проектированию с учетом неполной информации о временных, финансовых и санкционно-технических ограничениях // Технология машиностроения. 2021. № 3. С. 54–62.
4. Анисимов Н.Р., Фролов В.А., Будкин Ю.В., Князев А.В. Новые подходы к обеспечению безопасности роботов в промышленной среде // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 12–17.
5. Будкин Ю.В., Соколов Ю.А., Фролов В.А. Алгоритмы искусственного интеллекта в естественных и искусственных источниках излучения. Часть 2. Излучение высококонцентрированными источниками нагрева // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5 (69). С. 27–34.
6. Бурый А.С. Цифровые двойники как основа парадигмы развития прикладных информационных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6 (70). С. 24–30.

PROVISION OF INFORMATION SYSTEMS AND PROCESSES WITH INTERSECTORAL SETS OF STANDARDS AT VARIOUS LEVELS OF MANAGEMENT.

Part 3. Computer-aided design systems

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

The article presents the results of research into inter-industry systems and sets of standards with the aim of updating them and using them to support information systems and processes for the development and implementation of high-tech technology. The third part is devoted to computer-aided design systems that establish rules for performing design processes at the stages of the life cycle of high-tech technology, engineering analysis and management of technical documents and data. It is justified that it is expedient to link CADS standards with the Unified System of Standards for Automated Control Systems (ESS ACS 24) and the Set of Standards for Information Technology (KSAS 34).

The application of current standards by organizations and enterprises of the military-industrial complex requires very serious refinement and terminological linking with the current standards of the ESS ASU 24 and KSAS 34 complexes. The basis for the harmonization of CADS standards and complexes can be the ISO standards developed in recent decades in the field of computer modeling, which establish the rules performing design processes at the stages of product life cycle, engineering analysis and management of technical documents and data. This will allow us to abandon the production of physical (material) models, and in some cases, technical documentation, moving to a new technological level in design work - working directly with various types of data about the product throughout its life cycle.

Keywords: information systems and processes, mechanical engineering, standard, automated control system, computer-aided design system

References

1. Budkin Yu.V. Obespechenie informacionnyh sistem i processov razrabotki i vnedreniya naukoemkoj tekhniki mezhotraslevymi kompleksami standartov. CHast' 1. Edinaya sistema standartov avtomatizirovannyh sistem upravleniya. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, no. 1(71), pp. 30–34.
2. Budkin Yu.V. Obespechenie informacionnyh sistem i processov razrabotki i vnedreniya naukoemkoj tekhniki mezhotraslevymi kompleksami standartov. CHast' 2. Sistema «Informacionnye tekhnologii». Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, no. 2(72), pp. 4–13.
3. Baranov D.A., Budkin Yu.V., Mironov A.N., Niyazova Yu.M. Sovershenstvovanie processa sozdaniya naukoemkih izdelij raketno-kosmicheskogo mashinostroeniya na osnove perekhoda k platformennomu risk-orientirovannomu proektirovaniyu s uchetom nepolnoj informacii o vremennyh, finansovyh i sankcionno-tekhnicheskikh ogranicheniyah, Tekhnologiya mashinostroeniya, 2021, no. 3, pp. 54–62.
4. Anisimov N.R., Frolov V.A., Budkin Yu.V., Knyazev A.V. Novye podhody k obespecheniyu bezopasnosti robotov v promyshlennoj srede. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 1 (65), pp. 12–17.
5. Budkin Yu.V., Sokolov Yu.A., Frolov V.A. Algoritmy iskusstvennogo intellekta v estestvennyh i iskusstvennyh istochnikah izlucheniya. CHast' 2. Izluchenie vysokokoncentrirovannymi istochnikami nagreva. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 5 (69), pp. 27–34.
6. Buryi A.S. Cifrovye dvojniki kak osnova paradigmy razvitiya prikladnyh informacionnyh sistem. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 6 (70), pp. 24–30.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОСНОВЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА «УПРАВЛЕНИЕ ПРЕТЕНЗИЯМИ»

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

Попович Д.А., магистр, ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»

Принцип постоянного улучшения менеджмента качества широко используется в производственной сфере, так как обеспечивает достижение целей и повышает эффективность деятельности предприятия. Даже самые незначительные измерения в процессе могут привести к значительным улучшениям или ухудшениям, в связи с этим особую значимость приобретает мониторинг показателей процесса. В рамках проводимого исследования с учетом требований ГОСТ Р ИСО 10002–2020 «Удовлетворенность потребителей Руководящие указания по управлению претензиями в организациях» был предложен методический подход к формированию основ для мониторинга показателей процесса «Управление претензиями». В основу предложенного методического подхода была положена декомпозиция сгенерированной основной цели процесса «Управление претензиями» на подцели нижнего уровня, что обеспечивает детализацию подцелей и задач необходимых для ее достижения.

На основании задач, полученных в результате декомпозиции основной цели процесса, решение которых в совокупности обеспечивает достижение этой цели были сформированы показатели результативности рассматриваемого процесса и формулы для их расчета. Результаты расчета показателей результативности процесса могут быть использованы для мониторинга как отдельных показателей процесса, так и всего процесса в целом, т. е. его комплексной оценки, для расчета которой в работе были предложены формулы с рекомендациями по их использованию.

Ключевые слова: потребитель, претензия, цель процесса, дерево целей процесса, результативность, показатель результативности.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день принцип постоянного улучшения, реализующийся субъектами хозяйственной деятельности, является залогом успешной экономической деятельности. Однако постоянное улучшение конечного продукта, производимого предприятием, невозможно достичь без учета жалоб и рекламаций потребителя, поэтому работа с претензиями имеет очень важное значение, так как высокая репутация производителя является определяющим моментом в конкурентной рыночной борьбе.

Основным документом, регламентирующим и описывающим процессы по управлению претензиями в организации, является ГОСТ Р ИСО 10002–2020 «Удовлетворенность потребителя. Руководящие указания по управлению претензиями в организациях»¹. Данный документ определяет

основные параметры, функции и цели реализации процесса управления претензиями на предприятиях и предлагает в качестве конечного результата открытую и конструктивную его реализацию [1].

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Внедрение процесса «Управление претензиями» направлено на достижение целого ряда результатов, среди которых можно выделить два основных аспекта:

- разработка, внедрение и реализация на предприятии самого процесса;
- создание основы для постоянного анализа процесса, определения степени разрешения претензий в результате функционирования процесса и основы для постоянного улучшения процесса.

Следует отметить, что ГОСТ Р ИСО 10002–2020 имеет высокую степень проработанности требований, последовательное выполнение которых позволяет разработать,

¹ ГОСТ Р ИСО 10002–2020. Удовлетворенность потребителя. Руководящие указания по управлению претензиями в организациях. – М.: Российский институт стандартизации. 2022. 25 с.

внедрить и реализовать процесс по работе с претензиями на предприятиях любого типа. Практическая реализация второго аспекта ожидаемых результатов может иметь определенные трудности, что объясняется изложением требований стандарта касающихся организации мониторинга процесса работы с претензиями. Так, п. 8.4 «Мониторинг процесса работы с претензиями» ГОСТ Р ИСО 10002–2020 рекомендует в качестве показателей процесса работы с претензиями использовать предварительно определенные критерии, представленные в приложении 1 [1].

Анализ примеров критериев, предложенных для проведения мониторинга показателей процесса работы с претензиями, показал их разноплановость как в комплексности/единичности оцениваемого события, так и в использовании критериев с различными размерностями.

Среди предложенных критериев были выделены три группы:

- первая группа – критерии, описывающие сложные действия (например, надлежащее распределение ответственности за работу с претензиями и т. д.), оценка которых требует их детализации для однозначного понимания достигнутого результата по данному критерию;
- вторая группа – критерии, результат которых измеряется в различных физических единицах величин (например, время, затраченное на ответы предъявляющих претензию и т. д.);
- третья группа – критерии результат которых измеряется в относительных единицах (степень удовлетворенности предъявляющих претензию и т. д.).

Очевидно, что такая разноплановость предлагаемых критериев для проведения мониторинга показателей процесса работы с претензиями затрудняет их расчет, приводит к сложностям в сравнении и анализе показателей, что препятствует получению комплексной оценки функционирования всего процесса.

Исходя из вышесказанного, целью проводимой работы являлась разработка методического подхода к оценке результативности процесса «Управление претензиями».

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ требований к планированию, проектированию, разработке, функционированию, поддержанию и улучшению результативности и эффективности процесса работы с претензиями в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10002–2020;
- осуществлена генерация и декомпозиция целей процесса «Управление претензиями»;
- определена измерительная информация, составляющая основу для постоянного анализа и улучшения процесса;
- предложены показатели результативности для мониторинга процесса работы с претензиями.

В соответствии с первой задачей проводимого исследования был проведен анализ требований к планированию, проектированию, разработке, функционированию, поддержанию и улучшению результативности и эффективности процесса работы с претензиями в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10002–2020, для наглядного представления состав требований и последовательность их выполнения были представлены в виде алгоритма на рис. 1 [1].

Процесс «Управление претензиями», представленный в виде алгоритма на рис. 1, отражает последовательность выполняемых действий и событий, наступающих вследствие их выполнения. Выбранная форма графического представления процесса «Управление претензиями» соответствует цели проводимого исследования, так как содержит фиксацию событий, наглядно представляющих ожидаемый результат на всех этапах процесса.

В соответствии со следующей задачей исследования была осуществлена генерация основной цели процесса «Управление претензиями», которую необходимо достичь в рамках его реализации и ее последующую декомпозицию на подцели нижнего уровня, что обеспечивает определение более детальных подцелей и задач, необходимых для ее достижения. Дерево целей процесса «Управление претензиями» представлено на рис. 2 [2].

Дерево процесса было использовано для формирования метрик процесса, позволяющих проводить мониторинг достижения каждой из подцелей процесса. В результате проделанной работы были сформированы приведенные ниже показатели результативности процесса «Управления претензиями», а также предложены формулы для их расчета.

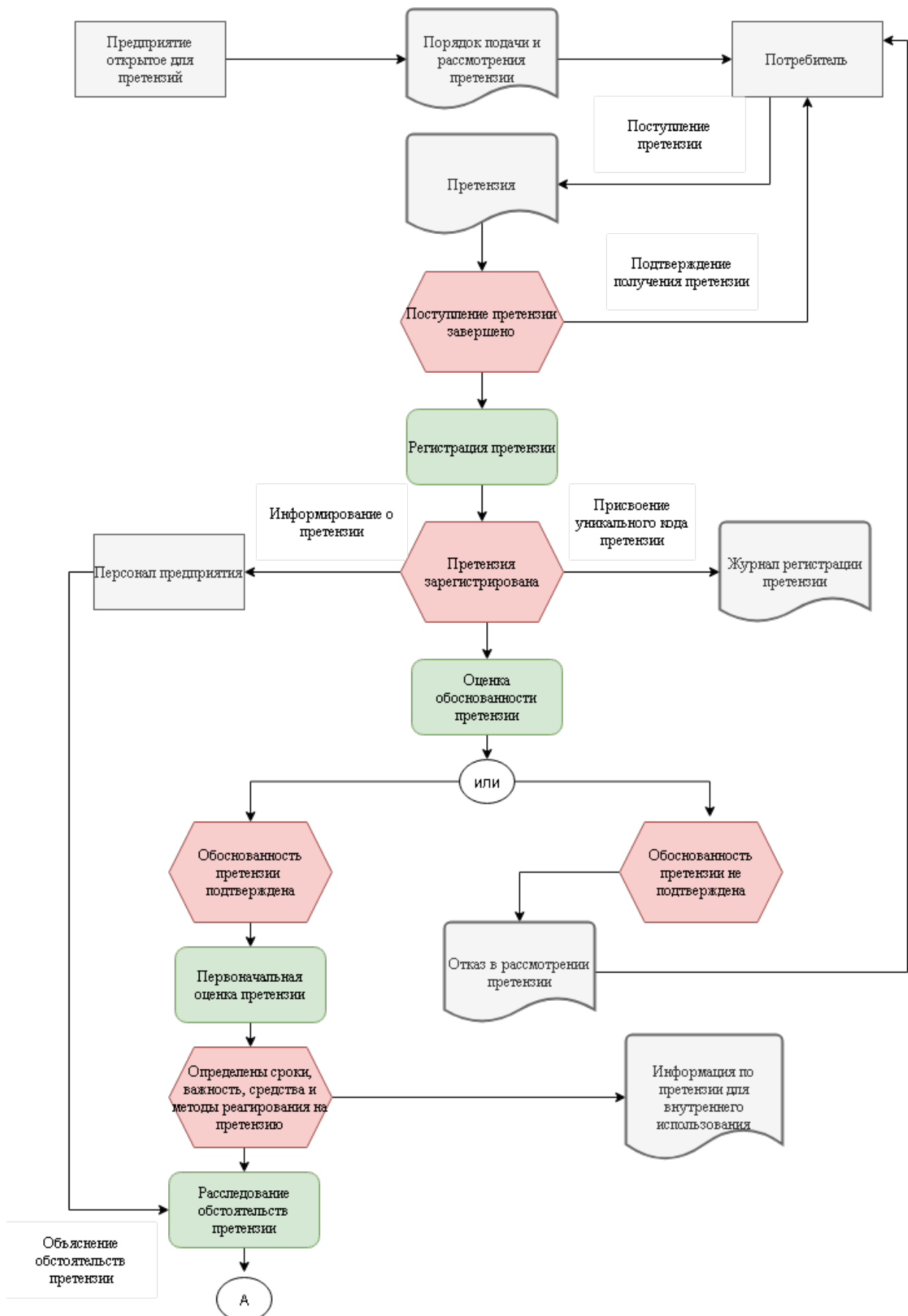




Рис. 1. Процесс «Управление претензиями»

Работа с претензиями в целях удовлетворенности потребителей	Получение претензии	Разработка информации для потребителя о работе с претензиями		Брошюра
		Информация на сайте		
		Регистрация претензии	Присвоение уникального кода претензии	Код претензии
			Занесение информации в журнал	Запись в журнале Учет количества претензий
		Анализ претензии	Оценка обоснованности претензии	
	Отказ в рассмотрении претензии			
	Первоначальная оценка претензии		Информация о претензии для внутреннего расследования	
	Запрос в подразделение по обстоятельствам претензии			
	Расследование обстоятельств претензии		Обстоятельства возникновения претензии, полученные от структурного подразделения	
	Повторные претензии			
	Реагирование на претензию	Подтверждение получения претензии		Звонок/письмо потребителю, подтверждающий получение претензии
		Автоматизация ответа потребителю		
		Разработка ответных действий на претензию		Информация для структурного подразделения
		Информация для потребителя		
		Оценка удовлетворенности потребителям предложенными действиями	Разработка действий по урегулированию претензии	Зарегистрированные действия реагирования на претензию
				Запись о закрытии претензии
				Звонок/письмо потребителю о закрытии претензии
		Предложение потребителю альтернативных действий		Удовлетворенные клиенты
Решение об альтернативных действиях рассмотрения претензии				
Звонок/письмо потребителю для разъяснения принятого решения				

Рис. 2. Дерево целей процесса «Управление претензиями»

■ цель процесса, ■ цели первого уровня, □ цели первого уровня, цели второго уровня, ■ цели третьего уровня, ■ цели четвертого уровня.

1. Степень обеспеченности потребителя информацией о работе с претензиями в торговом зале/офисе может быть определена по формуле 1:

$$R_1 = \frac{a_1}{100}, \quad (1)$$

где: $a_1 = 100$ (информация работе с претензиями представлена в торговом зале/офисе);

$a_1=0$ (информация по работе с претензиями отсутствует в торговом зале/офисе).

2. Степень обеспеченности потребителя информацией о работе с претензиями на сайте компании

$$R_2 = \frac{a_2}{100} \times 100\%, \quad (2)$$

где: $a_2 = 100$ (информация о работе с претензиями представлена на сайте компании);

$a_2 = 0$ (информация о работе с претензиями отсутствует на сайте компании).

3. Доля претензий, получивших уникальный код при поступлении на предприятие

$$R_3 = \frac{a_3}{b_3} \times 100\% , \quad (3)$$

где: b_3 – количество поступивших претензий;

a_3 – количество сгенерированных уникальных кодов.

4. Доля зарегистрированных претензий

$$R_4 = \frac{a_4}{b_4} \times 100\% , \quad (4)$$

где: b_4 – количество поступивших претензий;

a_4 – количество зарегистрированных претензий.

5. Степень снижения количества претензий

$$R_5 = \frac{a_5}{100} \times 100\% , \quad (5)$$

где: $a_5 = 100$ количество претензий текущего периода меньше, чем предыдущего;

$a_5 = 0$ количество претензий текущего периода больше, чем предыдущего.

6. Доля претензий, проверенных на их обоснованность

$$R_6 = \frac{a_6}{b_6} \times 100\% , \quad (6)$$

где: b_6 – количество поступивших претензий;

a_6 – количество проверенных претензий.

7. Доля проинформированных потребителей в отказе обоснованности претензии

$$R_7 = \frac{a_7}{b_7} \times 100\% , \quad (7)$$

где: b_7 – количество необоснованных претензий;

a_7 – количество потребителей, получивших отказ в обоснованности претензии.

8. Доля обоснованных претензий, обеспеченных формами для внутреннего расследования обстоятельств

$$R_8 = \frac{a_8}{b_8} \times 100\% , \quad (8)$$

где: b_8 – количество обоснованных претензий;

a_8 – количество заполненных форм для внутреннего расследования обстоятельств претензий.

9. Доля направленных в структурные подразделения запросов по обстоятельствам возникновения претензии может быть определена по формуле 9:

$$R_9 = \frac{a_9}{b_9} \times 100\% , \quad (9)$$

где: b_9 – количество обоснованных претензий;

a_9 – количество претензий, по обстоятельствам возникновения которых направлен хотя бы один запрос в структурное подразделение.

10. Доля претензий с обеспеченными объяснениями об обстоятельствах их возникновения от структурных подразделений

$$R_{10} = \frac{a_{10}}{b_{10}} \times 100\% , \quad (10)$$

где: b_{10} – количество обоснованных претензий;

a_{10} – количество претензий с объяснением обстоятельства их возникновения.

11. Доля претензий

$$R_{11} = \frac{a_{11}}{b_{11}} \times 100\% , \quad (11)$$

где: b_{11} – количество обоснованных претензий;

a_{11} – количество первичных претензий.

12. Степень снижения среднего времени на рассмотрение претензии

$$R_{12} = \frac{a_{12}}{100} \times 100\% , \quad (12)$$

где: $a_{12} = 100$ в случае снижения среднего времени рассмотрения претензии в текущем периоде по отношению к предыдущему;

$a_{12} = 0$ в случае увеличения среднего времени рассмотрения претензии в текущем периоде по отношению к предыдущему.

13. Доля потребителей, проинформированных о получении претензии

$$R_{13} = \frac{a_{13}}{b_{13}} \times 100\% , \quad (13)$$

где: b_{13} – количество поступивших претензий;

a_{13} – количество потребителей, проинформированных о получении претензии предприятием.

14. Степень автоматизации информирования потребителей о получении претензии

$$R_{14} = \frac{a_{14}}{100} \times 100\% , \quad (14)$$

где: $a_{14} = 100$ – есть возможность автоматизированного ответа;

$a_{14} = 0$ – нет возможности автоматизированного ответа.

15. Доля структурных подразделений, получивших информацию об ответных действиях на претензию

$$R_{15} = \frac{a_{15}}{b_{15}} \times 100\% , \quad (15)$$

где: b_{15} – количество обоснованных претензий;

a_{15} – количество структурных подразделений, получивших информацию.

16. Доля потребителей, проинформированных об ответных действиях на претензию

$$R_{16} = \frac{a_{16}}{b_{16}} \times 100\% , \quad (16)$$

где: b_{16} – количество обоснованных претензий;

a_{16} – количество потребителей, получивших информацию.

17. Доля претензий с регистрацией о выполнении ответных действий

$$R_{17} = \frac{a_{17}}{b_{17}} \times 100\% , \quad (17)$$

где: b_{17} – количество обоснованных претензий;

a_{17} – количество претензий с завершёнными ответными действиями.

18. Доля зарегистрированных закрытых претензий

$$R_{18} = \frac{a_{18}}{b_{18}} \times 100\% , \quad (18)$$

где: b_{18} – количество обоснованных претензий;

a_{18} – количество зарегистрированных закрытых претензий.

19. Доля потребителей, проинформированных о закрытии претензии

$$R_{19} = \frac{a_{19}}{b_{19}} \times 100\% , \quad (19)$$

где: b_{19} – количество обоснованных претензий;

a_{19} – количество потребителей, получивших информацию о закрытии претензии.

20. Уровень удовлетворенности потребителя решением претензии

$$R_{20} = \frac{a_{20}}{b_{20}} \times 100\% , \quad (20)$$

где: b_{20} – количество удовлетворенных потребителей;

a_{20} – количество обоснованных претензий.

21. Доля претензий, в отношении которых принято решение об альтернативных действиях урегулирования

$$R_{21} = \frac{a_{21}}{b_{21}} \times 100\% , \quad (21)$$

где: b_{21} – количество претензий, подлежащих альтернативным действиям урегулирования;

a_{21} – количество принятых решений об альтернативных действиях урегулирования претензии.

22. Доля потребителей, проинформированных о принятии альтернативных действий урегулирования претензии

$$R_{22} = \frac{a_{22}}{b_{22}} \times 100\% , \quad (22)$$

где: b_{22} – количество претензий, подлежащих альтернативным действиям урегулирования;

a_{22} – количество потребителей, получивших разъяснение о целесообразности применения альтернативных методов урегулирования претензии.

Следует отметить, что набор показателей результативности полученных вследствие реализации предлагаемого методического подхода, на практике может быть скорректирован, это обусловлено:

- структурой действующего на предприятии процесса «Управление претензиями»;
- наличием возможности автоматизации этапов процесса «Управление претензиями»;
- разнообразием используемых альтернативных методов реагирования на претензию и т.д.

Рассчитанные показатели результативности процесса могут быть использованы для мониторинга как отдельных показателей процесса, так и всего процесса в целом. В случае необходимости комплексной оценки показателей процесса в целом могут быть использованы формулы, основанные на принципах как арифметической, так и геометрической прогрессии, формулы 1, 2 [4].

$$R = R_i \times K_i + R_{i+n} \times K_{i+n} , \quad (23)$$

где: R_i – частный показатель результативности процесса;

K_i – коэффициент весомости частного показателя результативности;

n – количество частных показателей результативности.

$$R = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n R_i}, \quad (24)$$

где: R_i – частный показатель результативности процесса;

n – количество частных показателей результативности.

Решение о применении формул принимается исходя из поставленных задач. В целях проведения анализа процесса, определения степени разрешения претензий, оценки уровня функционирования процесса может быть использована формула 1, учитывающая суммарное значение частных показателей результативности, следует отметить, что во избежание нивелирования низких оценок высокими в данной формуле присутствуют коэффициенты весомости частных показателей, расчет которых может быть произведен целым рядом квалиметрических методов [4]. Для оценки достижения постоянного улучшения процесса может быть использована формула 2, так как геометриче-

ская прогрессия, положенная в основу данной формулы, позволяет уйти от нивелирования оценок, а при желании исследователя, задающего критерии оценки результат улучшения процесса может получить нулевое значение, в случае получения нулевого значения результативности одного из частных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный методический подход к оценке результативности процесса «Управление претензиями», является универсальным подходом и может быть использован для мониторинга работы с претензиями предприятиями всех видов коммерческой и некоммерческой деятельности. Данный методический подход позволяет обеспечить эффективный мониторинг процесса «Управление претензиями» с целью его постоянного улучшения что позволит предприятию сохранить (повысить) репутацию, снизить риски убытков вследствие несвоевременного (неадекватного) реагирования на претензию, улучшить качество продукции, повысить лояльность потребителей и соблюдение требований законодательства.

Список использованных источников и литературы

1. Практика применения стандарта моделирования ЕРС. [Электронный ресурс]. URL: <http://projectimo.ru/biznes-processy/notaciya-erc.html> (дата обращения 31.05.2023).
2. Дерево целей: примеры и правила построения. [Электронный ресурс]. URL: <https://sales-generator.ru/blog/derevo-tseley/> (дата обращения 31.05.2023).
3. Пономарев С.В. Управление качеством процессов и продукции: учебное пособие / С.В. Пономарев, Е.С. Мищенко, С.В. Мищенко; под ред. С.В. Пономарева. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2013. – Книга 3. Специальные вопросы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах. – 221 с.
4. Глебова Е.В., Лаптева Е.П. Методический подход к оценке результативности проведения плановых выездных проверок за соблюдением обязательных требований, установленных к объектам технического регулирования // Журнал «Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования». 2022. № 4 (68). С. 10–19.

METHODOLOGICAL APPROACH TO FORMING THE BASIS FOR MONITORING PROCESS INDICATORS «CLAIMS MANAGEMENT»

Glebova E.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Pro-fessor of the Department of Technical Systems Management, Dalrybvtuz

Popovich D.A., master, Dalrybvtuz

The principle of continuous quality management improvement is widely used in the manufacturing sector, as it ensures the achievement of goals and increases the efficiency of the enterprise. Even the smallest measurements in a process can lead to significant improvements or deteriorations, which makes monitoring process indicators especially important. As part of the ongoing research, taking into account the requirements of GOST R ISO 10002–2020 “Customer Satisfaction, Guidelines for Complaints Management in Organizations,” a methodological approach was proposed to form the basis for monitoring the indicators of the “Claims Management” process. The proposed methodological approach was based on the decomposition of the generated main goal of the “Claims Management” process into lower-level subgoals, which provides detailing of the subgoals and tasks necessary to achieve it. Based on the tasks obtained as a result of decomposition of the main goal of the process, the solution of which together ensures the achievement of this goal, performance indicators of the process under consideration and formulas for their calculation were formed. The results of calculating process performance indicators can be used to monitor both individual process indicators and the entire process as a whole, i.e. its comprehensive assessment, for the calculation of which formulas with recommendations for their use were proposed in the work.

Keywords: consumer, claim, process goal, process goal tree, performance, performance indicator

References

1. The practice of applying the EPC modeling standard. [Electronic resource]. URL: <http://projectimo.ru/biznes-processy/notaciya-epc.html> (accessed 31.05.2023).
2. Goal tree: examples and construction rules. [Electronic resource]. URL: <https://sales-generator.ru/blog/derevo-tseley/> (accessed 31.05.2023).
3. Ponomarev, S.V. Quality management of processes and products: textbook / S.V. Ponomarev, E.S. Mishchenko, S.V. Mishchenko; ed. S.V. Ponomareva. – Tambov: Tambov State Technical University (TSTU), 2013. – Book 3. Special issues of quality management of processes in the industrial, commercial and educational fields. – 221 p.
4. Glebova E.V., Lapteva E.P. A methodical approach to evaluating the effectiveness of scheduled field inspections for compliance with the mandatory requirements established for objects of technical regulation // Journal “Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation”. 2022. No. 4 (68). Pp. 10–19.

КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

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

Морин Е.В., канд. техн. наук, ФБУ «Ростест-Москва»

Современные тенденции в разработке отечественных программных средств характеризуются временными ограничениями, ориентацией на кроссплатформенность, адаптивность в проектировании и визуальный интерфейс. Существующая система стандартов по обеспечению качества программных продуктов построена с учетом разработки, проверки, аттестации и применения (эксплуатации) программных средств. Стремление обеспечить компромисс между показателями качества программ, внешними факторами и требованиями, временными ограничениями и стоимостью отражаются в выборе метрик и соответствующих инструментов анализа, способных минимизировать возможные дефекты, свойственные процессу разработки. Целью настоящей работы является разработка подходов к методике формирования инструментария в рамках метрологического обеспечения испытаний программных средств. Предлагается рассмотреть понятие качества программных средств на целевом, сущностном, функциональном и системном уровнях соответствующих информационных систем, для решения задач которых разрабатывается данное программное обеспечение.

Ключевые слова: качество программного продукта, метрики качества, испытания программных средств, многопризнаковые объекты, метрология программного обеспечения.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное повышение сложности функций, реализуемых программами в информационных системах, непосредственно связаны с увеличением их объема и трудоемкости программирования. Разработка многофункциональных программных комплексов не свободна от дефектов различного класса [1, 2], которые приводят к сбоям и отказам в функционировании соответствующих информационных систем, занятых в контурах управления важных объектов, отказоустойчивость большинства из которых направлена на структурную, функциональную, техническую и алгоритмическую устойчивость [3, 4].

Эффективность современных информационных систем и технологий, в том числе и автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) [5], в которых функции управления (частично или полностью) выполняет человек-оператор, на прямую зависит от качества их программного обеспечения. Программные средства активно используются во всех подсистемах АИУС на этапах пе-

реработки информации, поиска и отображения результатов анализа, формирования баз данных и знаний (БДЗ).

Экономическая ситуация обычно является вторичной по отношению к политической обстановке. Сегодня многие IT-тренды (Интернет вещей, блокчейн и некоторые другие) уступили место технологиям, направленным на обеспечение функциональности критической инфраструктуры. Кроме того, уход с рынка зарубежных поставщиков программного обеспечения (ПО)¹ открыл перспективы для отечественного технологического суверенитета в области ПО. Постоянный спрос на качественные программные продукты приводит к необходимости его разработки, испытания и внедрения, нередко, в более сжатые сроки. Вот почему вопросы развития механизмов и инструментов совершенствования организационного обеспечения и информационного взаимодействия в ходе разработки программных средств сохраняет свою актуальность [6, 7],

¹ ГОСТ Р 59853–2021. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. (Введ. 2022-01-01), (п. 2).

опираясь все чаще на когнитивные методы анализа слабо-структурируемых данных и факторов, влияющих на формирование качественного ПО [8].

СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Обычно под «качеством» понимается свойство/свойства продукта, процесса или услуги удовлетворять требованиям потребителей. Когда рассматривается процесс функционирования информационных систем или технического комплекса значительно увеличивается число свойств, требующих оценки, а степень их качества чаще всего сравнивается с требованиями нормативных документов (техническим заданиям на разработку, ГОСТам и др.). Качество информационной продукции можно оценить через количественные изменения их свойств в ходе проводимых испытаний [1, 6].

Цель испытаний любого уровня – это повышение качества изделия, так как непринятые меры по доработке программных средств, с течением времени, приводят к новым дефектам (сбоям) и ошибкам в программах, что демонстрируется на рисунке 1 [9].

Для водопадной модели ЖЦ зависимости (рис. 1) соответствуют различным этапам разработки программных средств (ПС), причем поиск дефектов и ошибок, ввиду постоянного совершенствования информационных систем и процессов, не теряет своей актуальности. Так дефекты, не обнаруженные на этапе формирования требований (кривая 1, на рис. 1) в итоге для разработчика становятся самыми «дорогими». Кривые 2, 3, 4 соответствуют этапам проектирования, программирования и тестирования. Заметного сокращения числа ошибок программ можно достигнуть за счет структурирования модельных ситуаций, сценариев модулируемых процессов, модельного представления (выбора модели решения задачи), от сложности которых зависит алгоритмическое представление, т.е. реализация конечной программы [10].

По аналогии с качеством продукции, под качеством данных понимают «совокупность их свойств, обуславливающих их пригодность удовлетворять определенные потребности» [11]. По своей сути данные являются продуктом информационных систем, а также формой представления информации в них, поэтому уместно, в этой связи, отметить понятие качества информации, как совокупность свойств содержательной информации, характеризующих степень ее соответствия потребностям (целям, ценностям).

Потребительскими показателями качества информации, наряду с ценой, содержанием, доступностью, точностью, выступают показатели, свойственные этапам переработки информации. Так для этапа сбора, первичной обработки данных важны характеристики репрезентативности, до-

стоверности, на этапе передачи данных – параметры актуальности, устойчивости, а для этапа применения информации – параметры полезности и прагматические свойства, например удовлетворенность пользователя полученной информацией по сделанному запросу [11, 12].

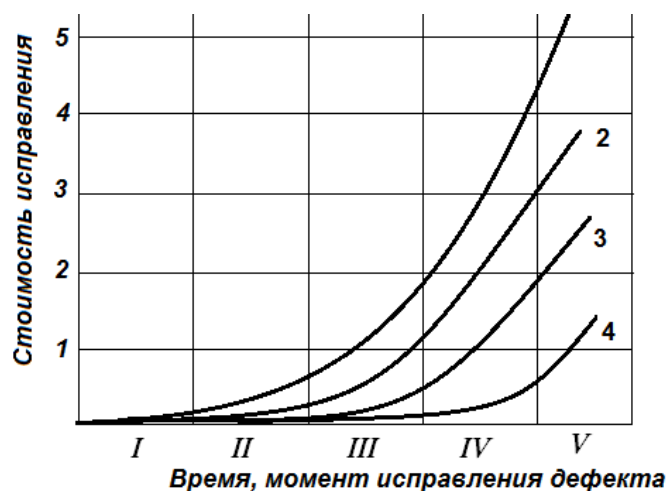


Рис. 1. Качественные зависимости кратности стоимости исправления дефектов программ на этапах разработки ПС: I – сбор требований; II – проектирование; III – программирование; IV – интегрированное тестирование; V – системное тестирование (данные по работе [9])

Применительно к вычислительной технике информация представляется в виде данных, физическая форма которых – это текстовые, программные (на языках моделирования), видео-, аудио- и другие файлы. При этом понятие качества данных, с точки зрения технологии использования ПС в составе ПО, есть «степень, с которой характеристики данных удовлетворяют заявленным и подразумеваемым требованиям при использовании в заданных условиях»².

Непосредственно на улучшение качества данных направлен рефакторинг – реструктуризация схемы БДЗ, способствующая улучшению качества информации, хранимой в БДЗ при сохранении функциональной и информационной семантики. Например, изменение форматов данных, улучшение представления данных, перемещения данных, перегруппирование в таблицах и другие незначительные преобразования.

Таким образом, трактовка понятия «качества» может рассматриваться на нескольких уровнях [7]: 1) на целевом уровне, когда преобразования направлены на повышение

² ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021–2014. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Элементы показателя качества. – (Введ. 2015-06-01); п. 4.1.

эффективности технологических решений, за счет организационного, структурного или функционального развития и совершенствования объектов; 2) на сущностном уровне, когда исследуются конкретные признаки, свойства, структурные особенности, характеристики объектов, в частности, программных средств; 3) на функциональном уровне, на котором идентифицируются информационные технологии и процессы управления и переработки информации, соответствующие основным подсистемам АИУС; 4) на общесистемном уровне, при этом рассматривается взаимодействие с другими системами окружающей среды, когда оценивается качество информационной системы в целом и анализируются ее ценности (рис. 2).



Рис. 2. Свойства составного понятия качества информационной системы

Представленные четыре уровня, на наш взгляд, позволяют увязать, например, сущностные признаки объекта с технологиями. Так базы данных и, соответственно, системы управления БДЗ напрямую связаны с алгоритмами и машинными программами, реализующими их функции. Поэтому большинство свойств, характеризующих качество ПС, может быть применимо для оценки качества объектов, которые составляют предмет исследования каждого последующего уровня, из числа представленных на рисунке 2. Так, для оценки формально-технических свойств информационных систем актуальны свойства безошибочности, оперативности, целостности и полноты [13], составляющих понятие содержательной информации – важнейшей части информации при рассмотрении вопросов документирования или создания БДЗ.

Оценка качества ПС на функциональном уровне осуществляется по следующим направлениям:

- оценка структурной сложности программ;
- оценка надежности программного обеспечения, позволяющая прогнозировать отказы ПС;
- оценка производительности ПО и повышение его эффективности путем выявления ошибок проектирования;

- оценка уровня языков программирования и их синтаксиса;
- оценка структур программ, порядка их сопровождения и модифицирования.

МЕТРОЛОГИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Относительно новым и весьма актуальным направлением метрологии является технология разработки, производства, испытания и применения программных средств. Основное предназначение метрологии ПО – это обоснование и поддержание заданного уровня качества программ [1, 14].

Метрики качества программ целесообразно рассматривать как систему измерений качества программ, проводимых на уровне отдельных характеристик программ (свойств, признаков).

Метрики обеспечивают измерения определенных свойств (признаков качества) программ: сложности, тестируемости, сопровождаемости, трудоемкости программирования, достоверности и точности, ресурсоемкости, стоимости разработки и ряда других [14]. Метрика ПО представляет собой числовую характеристику некоторого свойства программы.

Применительно к общему подходу к трактовке понятия «качества» метрика – это материальная мера некоторых аспектов качества, реализуемая, как способ назначения определенного значения с использованием методов измерения или тестирования для количественной оценки объекта качества с точки зрения таких характеристик качества, как шкала, критерий, степень, отношение или утвержденная норма и т.д.³

В таблице 1 представлены основные классы метрик для оценки программных продуктов (ПП), в виде размерноориентированных и функционально-ориентированных, приведены их достоинства (Д) и недостатки (Н).

Под LOC-оценками понимается количество строк в программном продукте.

В итоге на предварительном этапе (при подготовке к тестированию) заданного типа ПП формируются требования к тестируемому объекту, которые играют роль образца – эталона продукта, с которым, по сути, будет сравнивается тестируемый объект (программное средство) в ходе сертификационных испытаний.

Исходя из существующих наборов признаков, атрибутов программных конструкций и методик их определения для

³ ГОСТ Р 54837–2011. Информационные технологии. Обучение, образование и подготовка. Менеджмент качества, обеспечение качества и метрики. Часть 3. Эталонные методы и метрики. – (Введ. 2011-12-13); (п. 4.4).

Таблица 1

Классы метрик для оценки параметров программных продуктов

КЛАССЫ МЕТРИК	ПОКАЗАТЕЛИ	РЕАЛИЗАЦИЯ	ДОСТОИНСТВА / НЕДОСТАТКИ
Размерно-ориентированные (Lines of Code – LOC-оценки)	$\text{Производительность} = \frac{\text{Длина} \left[\frac{\text{тыс. LOC}}{\text{чел. -мес}} \right];}{\text{Затраты}}$ $\text{Удельная стоимость} = \frac{\text{Стоимость} \left[\frac{\text{тыс. руб.}}{\text{LOC}} \right];}{\text{Длина}}$ $\text{Документированность} = \frac{\text{Страниц Документа} \left[\frac{\text{Страниц}}{\text{тыс. LOC}} \right]}{\text{Длина}}$	Прямо измеряют ПП и процесс его разработки	Д: широко распространены и легко вычисляются; Н: зависят от языка программирования; часто исходные данные отсутствуют на начальной стадии; не приспособлены к непроцедурным языкам программирования
Функционально-ориентированные (функциональный размер – FP – functional points)	Использование интерфейса; Сложность обработки; Распространенность используемой конфигурации; Условия эксплуатации	Косвенно измеряют ПП и процесс его разработки	Д: не зависят от языка программирования; легко вычисляются на любой стадии проекта; Н: результаты основаны на субъективных данных, используются косвенные измерения

каждого типа программных средств⁴, можно утверждать о многопризнаковых объектах, причем различные признаки могут использовать различные метрики, и, соответственно, шкалы для их измерения и оценки [15].

При выборе метрики по оценке качества ПО следует руководствоваться следующими правилами [16]:

- метрики должна иметь смысловую нагрузку, понятную как заказчику, так и исполнителю (проектировщику или разработчику ПО);
- они должны быть просты, объективны, легко интерпретироваться;
- их сбор может быть автоматизирован, не нарушая нормальной работы в ходе целевого использования;
- метрики должны обеспечивать получение непротиворечивых оценок на протяжении всего жизненного цикла изделия, а также показывать тенденции при переходе от версии к версии.

В таблице 2 представлены особенности по реализации шкал применительно к типам шкал, используемым при оценке качества программных средств. Шкала представляет собой упорядоченный набор значений, непрерывный или дискретный,

или набор категорий, на которых отображается атрибут⁵. Абсолютная шкала, шкала разностей (интервальная) и шкала отношений объединяются в класс метрических шкал. С их помощью определяют количественные показатели.

Для качественного анализа свойств (признаков) программной продукции в основном используют порядковые, и шкалы наименований. Если для шкалы наименований свойственна оценка типа «да» - «нет», то порядковая шкала дает возможность ранжировать элементы и упорядочивать их по определенным принципам. Шкала разностей, или интервалов широко применяется как при измерении ряда физических величин, так и при экспертном оценивании. Она с помощью линейных преобразований позволяет изменять масштаб шкалы и варьировать диапазоном измерения. Для сравнения однотипных свойств различных объектов применяются шкалы отношений.

Измерительные шкалы устанавливают границы (диапазон) и точности измерительных характеристик свойств в установленных единицах.

К основным свойствам, характеризующим правильность выбора шкалы измерений, относят обоснованность, устойчивость и точность. Обоснованность подтверждает, что данной шкалой измеряется именно те признаки, которые необходимы для анализа. Устойчивость подтверждается повтор-

⁴ МИ 2955–2010. ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2010. (Введ. 2010-05-24).

⁵ ГОСТ Р 54837–2011. (п. 4.5).

Таблица 2

Варианты реализации шкал при оценивании признаков качества

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ШКАЛ	ТИП ШКАЛЫ				
	НАИМЕНОВАНИЙ	ПОРЯДКА	РАЗНОСТЕЙ	ОТНОШЕНИЙ	АБСОЛЮТНАЯ
Использование единиц измерений	Невозможно ввести единицы измерений	Невозможно ввести единицы измерений	Возможно ввести единицы измерений	Возможно ввести единицы измерений	Возможно ввести единицы измерений
Необходимость эталона реализуемой шкалы	Шкалы могут применяться без специальных эталонов	Шкалы могут применяться без специальных эталонов	Реализация шкал – только за счет специальных эталонов	Реализация шкал – только за счет специальных эталонов	Шкалы могут применяться без эталонов
Что должен воспроизводить эталон при его наличии?	Весь диапазон шкалы	Весь диапазон шкалы	Какую либо часть или точку шкалы и условный ноль	Какую либо часть или точку шкалы	Обязательные требования отсутствуют
Допустимые преобразования	Определены две операции: «равно», «неравно»	Монотонные преобразования (сохраняя порядок следования измерений)	Линейные преобразования вида $y=ax+b$	Линейные преобразования вида $y=ax$	Объединяет свойства шкал отношений и разностей
Примеры решаемых задач	Перечни категорий информации: техническая, финансовая	Ранжирование объектов; бальное оценивание	Гистограммы анализа сбоев программ	Параметры ПО: требуемый объем памяти и др.	Оценка фактов (число ошибок в программе)

ными измерениями, а точность, например, за счет применения различных методов измерений, если это возможно.

Отдельно следует остановиться на терминологической стороне вопроса, актуальность которого возрастает при формировании словарей признаков, а также при наполнении соответствующих баз данных [17]. В ряде случаев система понятий связана с определенной предметной областью, в которой есть возможность установить взаимосвязи существующих понятий с вновь вводимыми понятиями в БД. Формирование понятий связано с выявлением их главных признаков и установлением системы отношений между ними. Несмотря на это, отношения понятийного уровня более просты, в сравнении с отношениями между признаками и объектами, характеризующимися этими признаками. Терминология, представленная в виде системы взаимоувязанных терминов (понятий) относится к числу таких интегрирующих факторов, которые позволяют создавать единое информационное и терминологическое пространство для заданной области исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение качества программного обеспечения совпадает с современными тенденциями, которые требуют все более высокого уровня качества во всех видах функционального обеспечения информационных систем, как уже существующих, так и разрабатываемых. Развитие научно-методического

подхода к проведению сертификационных испытаний программных комплексов открывает новые возможности в создании программных продуктов высокого качества.

Данное направление, являясь одним из видов метрологической деятельности, представляет собой сложный многоаспектный процесс, требующий инновационного обеспечения, который во многом зависит от обслуживающих его информационных систем. Существующие инфраструктуры распределенных информационных систем сертификации необходимы новые методические подходы, аналитические и прикладные методы и алгоритмы. Целью этого процесса является унификация информационных процессов, как на этапах управления испытательными технологиями, так и на этапах аналитической обработки полученных результатов.

Отсутствие национальных брендов и известных российских IT-компаний на мировой арене объясняется не только уровнем маркетингового управления, но и неудовлетворительной информационной поддержкой. Это также связано с недостаточностью оснащенности программных продуктов свойствами адаптации к различным программным средам (кроссплатформенностью), масштабируемостью, надежностью (отказоустойчивостью) и сервисной поддержкой. Они также требуют возможности расширения функционала за счет интеграции с другими программными комплексами и технологиями, например, с использованием Интернета вещей для реализации более инновационных решений и услуг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липаев В.В. Сертификация программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2010. 348 с.
2. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий. – М.: Горячая линия-Телеком, 2019. 160 с.
3. Тарасов А.А. Функциональная реконфигурация отказоустойчивых систем: монография. – М.: Логос, 2012. 152 с.
4. Бурый А.С. Отказоустойчивые распределенные системы переработки информации. – М.: Горячая линия-Телеком, 2016. 128 с.
5. Кульба В.В., Косяченко С.А., Лебедев В.Н. Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур // Проблемы управления. 2009. № 3.1. С. 73–86.
6. Ананьева Т.Н., Новикова Н.Г., Исаев Г.Н. Стандартизация, сертификация и управление качеством программного обеспечения: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2017. 232 с.
7. Бурый А.С., Морин Е.В. Концептуальная модель контроля качества программной продукции на множестве признаков // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 29–37.
8. Buryi A.S., Lomakin M.I., Dokukin A.V. [et al.] A Study the Techniques of Assessing the Quality of Software Products // International Journal for Quality Research. 2021. Vol. 15. No 2. P. 619–636.
9. Савкин В. Принципы управления качеством программ // Открытые системы. СУБД. 2008. № 6. С. 49–53.
10. Авдеева З.К., Коврига С.В., Гребенюк Е.А. Формирование среднесрочных месячных прогнозов цен на сырье на основе экспертной и количественной информации // Автоматизация в промышленности. 2022. № 5. С. 38–45.
11. Дружинин Г.В., Сергеева И.В. Качество информации. – М.: Радио и связь, 1990. 172 с.
12. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. 248 с.
13. Ловцов Д.А. Лингвистическое обеспечение правового регулирования информационных отношений в инфосфере. II. Качество информации // Правовая информация. 2015. № 2. С. 52–60.
14. Карпович Е.Е. Оценивание качества программного обеспечения САПР на основе метрических характеристик // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 5. С. 235–243.
15. Бурый А.С., Морин Е.В. Оценивание программных средств по множеству признаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 10. С. 907–913. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-907-913
16. Ройс У. Управление проектами по созданию программного обеспечения. – М.: Изд-во ЛОРИ, 2007. 424 с.
17. Шустова Л.И., Тараканов О.В. Базы данных: учеб. – М.: Инфра-М, 2016. 304 с.

CONCEPTUALIZATION OF QUALITY IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT OF INFORMATION SYSTEMS

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

Morin E. V., Candidate of Engineering Sciences, FBU «Rostest-Moscow»

Modern trends in the development of domestic software are characterized by time constraints, orientation to cross-platform, adaptability in design and visual interface. The existing system of standards for ensuring the quality of software products is built taking into account the development, verification, certification and application (operation) of software tools. The desire to ensure a compromise between program quality indicators, external factors and requirements, time constraints and cost are reflected in the choice of metrics and appropriate analysis tools that can minimize possible defects inherent in the development process.

The purpose of this work is to develop approaches to the methodology of forming tools within the metrological support of software testing. It is proposed to consider the concept of software quality at the target, essential, functional and system levels of the corresponding information systems, for solving the tasks of which this software is being developed

Keywords: software product quality, quality indicators, software testing, multifeature objects, software metrology.

References

1. Lipaev V.V. Programmnaya inzheneriya slozhnykh zakaznykh programmnykh produktov: ucheb. posobie. Moscow, Maks Press Publ., 2014, 312 p.
2. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury ocenki kachestva programmnykh izdelij. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2019, 160 p.
3. Tarasov A.A. Funkcional'naya rekonfiguraciya otkazoustojchivykh sistem: monografiya. Moscow, Logos Publ., 2012. 152 p.
4. Buryi A.S. Otkazoustojchivye raspredelennye sistemy pererabotki informacii. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2016. 128 p.
5. Kulba V.V., Kosyachenko S.A., Lebedev V.N. Avtomatizirovannye informacionno-upravlyayushchie sistemy social'noekonomicheskikh i organizacionnykh struktur. Problemy upravleniya, 2009, no. 3.1, pp. 73–86.
6. Ananeva T.N., Novikova N.G., Isaev G.N. Standartizaciya, sertifikaciya i upravlenie kachestvom programmogo obespecheniya. Moscow, INFRA-M Publ., 2017, 232 p.
7. Buryi A.S., Morin E.V. Konceptual'naya model' kontrolya kachestva programmnoj produkcii na mnozhestve priznakov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 1(65), pp. 29–37.
8. Buryi A.S., Lomakin M.I., Dokukin A.V., [et al.] A Study the Techniques of Assessing the Quality of Software Products. International Journal for Quality Research, 2021, vol. 15, no 2, pp. 619–636. doi: 10.24874/IJQR15.02-16
9. Savkin V. Principy upravleniya kachestvom program. Otkrytye sistemy. SUBD, 2008, no. 6, pp. 49–53.
10. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Grebenyuk E.A. Formirovanie srednesrochnykh pomesyachnykh prognozov cen na syr'e na osnove ekspertnoj i kolichestvennoj informacii. Avtomatizaciya v promyshlennosti, 2022, no. 5, pp. 38–45.
11. Druzhinin G.V., Sergeeva I.V. Kachestvo informacii. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1990, 172 p.

12. Lovtchov D.A. Informacionnaya teoriya ergasistem: Tezaurus. Moscow, Nauka Publ., 2005, 248 p.
13. Lovtchov D.A. Lingvisticheskoe obespechenie pravovogo regulirovaniya informacionnyh otnoshenij v infosfere. II. Kachestvo informacii. Pravovaya informaciya, 2015, no. 2, pp. 52–60.
14. Karpovich E.E. Ocenivanie kachestva programmogo obespecheniya SAPR na osnove met-richeskih harakteristik. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2013, no. 5, pp. 235–243.
15. Buryi A.S., Morin E.V. Ocenivanie programmnyh sredstv po mnozhestvu priznakov. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 2019, vol. 62, no 10, pp. 907–913. doi: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-907-913
16. Rojs U. Upravlenie proektami po sozdaniyu programmogo obespecheniya. Moscow, LORI Publ., 2007, 424 p.
17. Shustova L.I., Tarakanov O.V. Bazy dannyh: Uchebnik. Moscow, Infra-M Publ., 2016, 304 p.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

Сергеичев И.В., канд. техн. наук, доцент

Карамов Р.И., Сколковский институт науки и технологий

Одной из основных целей в области проектирования новых композиционных материалов является прогнозирование их надежности и долговечности. Известные способы прогнозирования свойств материалов взаимосвязаны с состоянием внутренней структуры материала, что является ресурсоемкой задачей. Вместе с тем, в отличие от традиционного метода проб и ошибок, растущие требования к высокопроизводительным продуктам и экологической безопасности требуют изготовления «с первого раза» изделий наукоемкой техники.

Исследованы модели машинного обучения для проведения косвенных измерений свойств материалов с использованием систем искусственного интеллекта. Разработаны предложения к сбору и обработке данных, а также к моделям машинного обучения, необходимым для повышения точности оценки свойств материалов при измерении физико-механических свойств неметаллических материалов. Результат исследований может быть использован для разработки стандартов по применению искусственного интеллекта в средствах измерений.

Ключевые слова: искусственный интеллект, искусственный интеллект в средствах измерения, стандарты искусственного интеллекта, материаловедение, трещиностойкость.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

21 век стал свидетелем быстрого сближения производственных технологий, информатики и информационных технологий. Это привело к появлению парадигмы 4.0. Известные до сих пор разработки в области металлургии и материаловедения в значительной степени обусловлены применением фундаментальных знаний посредством экспериментов и накопленного опыта. Однако растущие требования к высокопроизводительным продуктам и экологической безопасности требуют производства «с первого раза» в отличие от традиционного метода проб и оши-

бок [1]. В этом контексте априорные возможности прогнозирования и оптимизации параметров материалов, процесса и продукта становятся благоприятным фактором. В последнее время исследования в области материаловедения все больше затрудняют вычислительные методы при разработке экзотических материалов с большей надежностью и точностью [2].

Прогнозирование механических свойств является одной из основных целей в области проектирования новых композиционных материалов. В настоящее время применяют способы прогнозирования свойств материалов с исполь-

зованием моделирования на основе информации о внутренней структуре материала: молекулярной динамики, методов конечных элементов и других областей знаний.

Данные способы имеют некоторые ограничения вследствие того, что получение полной и достоверной информации о корреляции механических свойств материала с его структурой является ресурсоемкой, а иногда и неосуществимой задачей [3].

Как пример, для экспериментального определения трещиностойкости пултрузионного композиционного материала по ГОСТ Р 56815, ГОСТ 3368, ГОСТ Р 56740–2015 необходимо выполнить большое количество механических испытаний и математических расчетов для оценки разрушения через расслоение применительно к анализу стойкости, а также для анализа долговечности изделия. В случае испытания материалов с высокими значениями межслойной вязкости разрушения необходимо ограничивать выбор образцов и вводить поправочные коэффициенты для измерения прогиба. Это объясняется существенной зависимостью применения метода испытаний от структурного состояния материала. Также на результаты экспериментального анализа трещиностойкости материала может влиять человеческий фактор оператора вследствие сложности проведения механических испытаний и данных механических испытаний, что приводит к большим итоговым погрешностям измеряемого значения.

Существуют стандартные методы испытаний пултрузионных полимерных композитов по ГОСТ Р 57921–2017 на растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг в плоскости армирования и ударную прочность при изгибе. Физико-механические свойства, полученные в результате стандартных испытаний, могут быть использованы для «косвенного» прогнозирования стойкости и долговечности изделия без дополнительных исследований внутренней структуры материала с использованием машинного обучения (МО). Стандартные методы измерений обладают простой методикой и оборудованием по сравнению с экспериментальными методами определения трещиностойкости.

ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью анализа данных и алгоритмов МО, необходимых для повышения точности оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений определены следующие задачи (рис. 1):

1. Сбор и подготовка набора данных по результатам косвенных измерений.
2. Выбор и обучение модели машинного обучения.
3. Применение машинного обучения для повышения точности оценки свойств материалов.

По задаче 1 изготовлен 50-метровый пултрузионный профиль, армированный однонаправленными стеклянными волокнами (рис. 2).



Рис. 1. Применение методов машинного обучения для повышения точности оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений

Схема раскроя пултрузионной плиты для сбора данных для предсказания трещиностойкости:
30 стандартных образцов и 3 образца на трещиностойкость

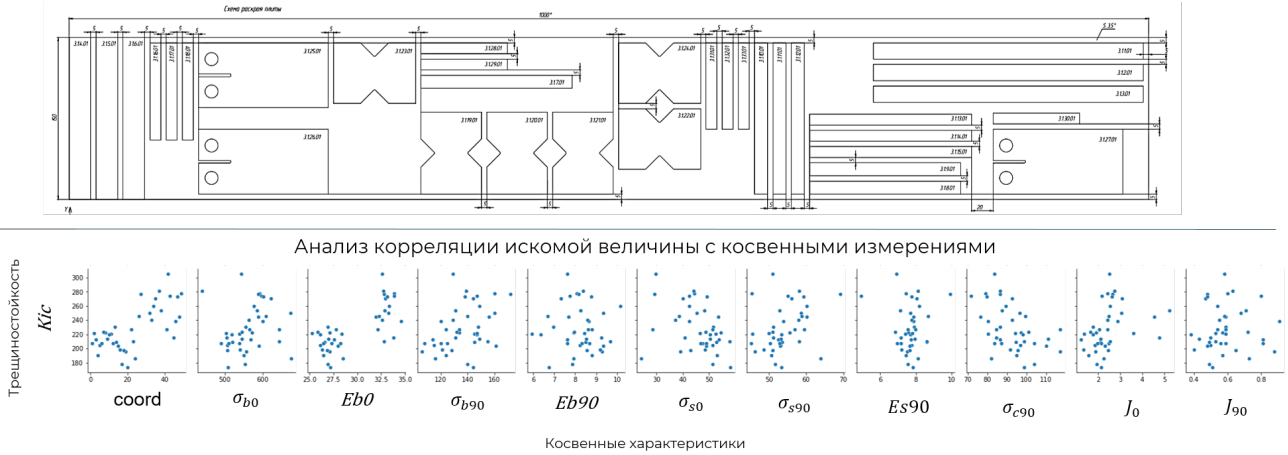


Рис. 2. Сбор и подготовка данных для машинного обучения

Из каждого метра профиля были вырезаны тридцать образцов для стандартных механических испытаний и три образца для испытаний на трещиностойкость. Были проведены стандартные механические испытания на растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг в плоскости армирования, ударную прочность при изгибе, а также отдельно проведены испытания на трещиностойкость. Получен набор данных, состоящий из 50 комплектов данных, суммарно включающий 900 расчетных значений механических характеристик пултрузионного композиционного материала.

По задаче 2 были выбраны и протестированы три модели контролируемого МО: искусственные нейронные сети, метод случайного леса и метод обобщенного повышения градиента (XGBoost) для прогнозирования трещиностойкости пултрузионных полимерных композитов по результатам стандартных испытаний (рис. 3).

По задаче 3 получены результаты прогнозирования искомой величины, изучена корреляция между полученными механическими свойствами. Проведен анализ эффективности алгоритмов машинного обучения для предсказания трещиностойкости (рис. 4).

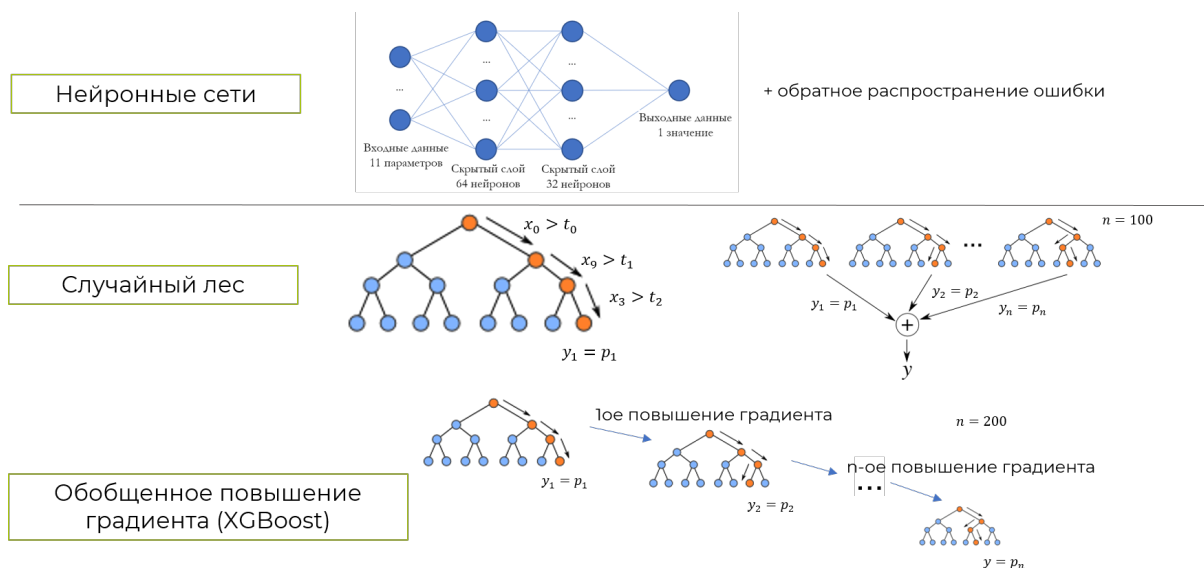


Рис. 3. Выбор и обучение модели машинного обучения

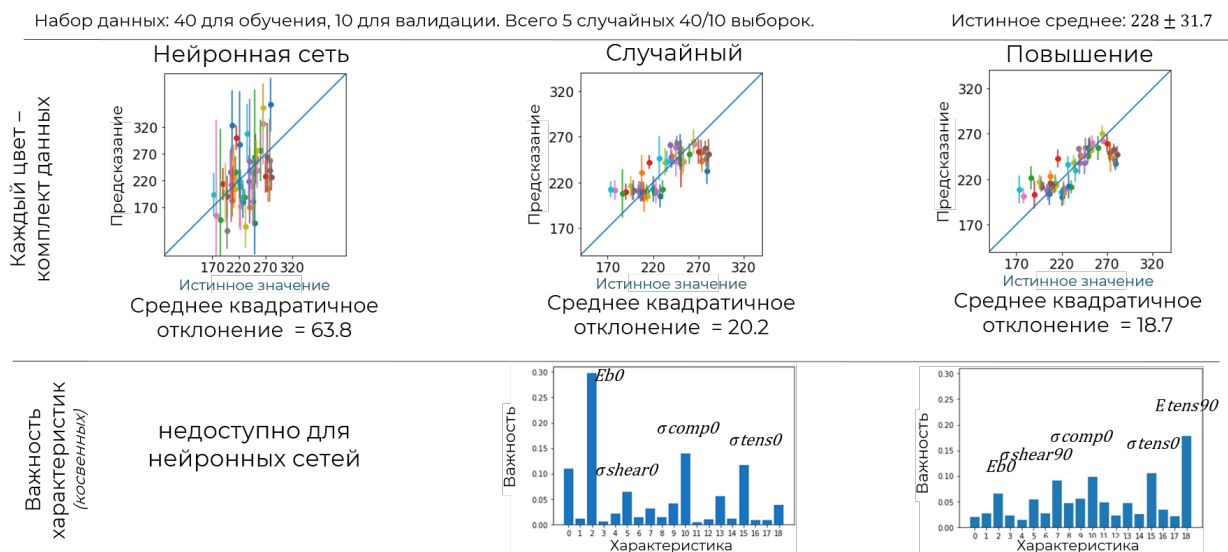


Рис. 4. Применение моделей машинного обучения для повышения точности оценки свойств материалов

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ важности характеристик МО показал, что трещиностойкость имеет самую высокую корреляцию с продольным изгибом и поперечным растяжением и значительную корреляцию с продольным модулем сжатия и продольной прочностью на растяжение. Алгоритмы на основе методов случайного леса и обобщённого повышения градиента (XGBoost) продемонстрировали наилучшую точность прогнозирования коэффициента вязкости разрушения, при этом значение среднеквадратичной ошибки между прогнозируемым и фактическим значением составляет менее 10% от среднего значения, обеспечивая прогноз в пределах погрешности эксперимента. В результате статистического анализа было выявлено, что метод повышения градиента обеспечивает достаточную полноту и достоверность предсказанных результатов и может быть использован для последующих работ. Прогноз трещиностойкости с помощью метода нейронных сетей считался статистически неудовлетворительным из-за небольшого количества данных, используемой для значительного числа обучаемых параметров нейронной сети, которые необходимо было оптимизировать во время обучения. Однако, как указывается в литературе, при большем количестве данных методы нейронных сетей, использующие нейронные сети, могут

показать более высокую точность предсказания по сравнению с методами неглубокого обучения (случайный лес, обобщенное повышение градиента).

ВЫВОДЫ

Обученные модели машинного обучения демонстрируют потенциал для определения того, какие косвенные механические свойства коррелируют с трещиностойкостью материала. Наилучшие значения характерны для модулей модуля изгиба и растяжения. Также наблюдается хорошая корреляция с трещиностойкостью с модулями упругости при сжатии и с прочностью при растяжении.

Целесообразно разработать общие требования к сбору и обработке данных, а также к моделям машинного обучения, необходимым для повышения точности оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений.

Стандарты, задающие требования к данным и моделям МО, используемым при измерении физико-механических свойств неметаллических материалов, будут востребованы при разработке изделий новой техники в области автодорожной инфраструктуры, контейнерных грузоперевозок, сервисного оборудования транспортного машиностроения.

Список использованных источников и литературы

1. Гарбук С.В. Метод оценки влияния параметров стандартизации на эффективность создания и применения систем искусственного интеллекта // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 3 (67). С. 4–14.
2. Prediction of Fracture Toughness of Pultruded Composites Based on Supervised Machine Learning Radmir Karamov, Iskander Akhatov and Ivan V. Sergeichev, *Polymers* 2022, 14, 3619.
3. Будкин Ю.В., Соколов Ю.А., Фролов В.А. Алгоритмы искусственного интеллекта в естественных и искусственных источниках излучения. Часть 2. Излучение высококонцентрированными источниками нагрева // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5 (69). С. 27–34.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO IMPROVE THE ACCURACY OF ASSESSING THE PROPERTIES OF MATERIALS BASED ON THE RESULTS OF INDIRECT MEASUREMENTS

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

Sergeichev I.V., Ph.D., Associate Professor

Karamov R.I., Skolkovo Institute of Science and Technology

One of the main goals in the design of new composite materials is to predict their reliability and durability. Known methods for predicting the properties of materials are interconnected with the state of the internal structure of the material, which is a resource-intensive task. At the same time, in contrast to the traditional trial and error method, the growing demands for high-performance products and environmental safety require the production of high-tech products «right first time». Machine learning models for indirect measurements of material properties using artificial intelligence systems have been explored.

Proposals have been developed for data collection and processing, as well as for machine learning models necessary to improve the accuracy of assessing material properties when measuring the physical and mechanical properties of non-metallic materials. The research result can be used to develop standards for the use of artificial intelligence in measuring instruments.

Keywords: artificial intelligence, artificial intelligence in measuring instruments, artificial intelligence standards, materials science, crack resistance.

References

1. Garbuk S.V. Method for assessing the influence of standardization parameters on the efficiency of creating and using artificial intelligence systems // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2022. No. 3 (67), pp. 4–14.
2. Prediction of Fracture Toughness of Pultruded Composites Based on Supervised Machine Learning Radmir Karamov, Iskander Akhatov and Ivan V. Sergeichev, Polymers 2022, 14, 3619.
3. Budkin Yu.V., Sokolov Yu.A., Frolov V.A. Artificial intelligence algorithms in natural and artificial radiation sources. Part 2. Radiation from highly concentrated heating sources // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2022. No. 5 (69), pp. 27–34.

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ (ТРЕНАЖНЫХ) ЗАДАЧ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

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

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

Рассматриваются вопросы подготовки специалистов по применению сложных технических объектов (СТО) в ходе принятия решений, вытекающих из анализа построения и способов применения объектов в различных формах операций, как целенаправленных совокупностей действий на множестве сценариев противоборства в конкурентной среде с целью повышения эффективности управления организационно-техническими системами (ОТС). Учебная задача представляет различной сложности проблемную ситуацию, которую обучаемый решает как в традиционном формате, так и на основе информационно-тренажных систем (ИТС) в условиях временных и ресурсных ограничений.

Цель разработки ИТС концептуально представляется функцией облика и способов применения СТО на основе системной парадигмы информационного взаимодействия аппаратно-программных средств, аксиоматических правил их функционирования. Особенностью разработки ИТС является комплексное моделирование всех видов целенаправленной деятельности СТО по обеспечению действий ОТС в различных формах операций.

Реализация метода позволяет на основе морфологического анализа информационного процесса конфликтного взаимодействия ОТС выделить основные функции управления СТО, декомпозиция которых до уровня функциональных задач обеспечивает формирование полного множества учебно-тренировочных (тренажных) задач.

Ключевые слова: учебно-тренировочная (тренажная) задача, сложный технический объект, информационно-тренажная система, организационно-техническая система, планирование, корректировка, эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Основу подготовки специалистов по применению сложных технических объектов (СТО) составляет совокупность учебных задач (УЗ), вытекающая из анализа построения и способов применения объектов в различных формах операций, как целенаправленной совокупности действий для повышения эффективности обеспечиваемых ими организационно-технических систем (ОТС) на множестве способов взаимодействия с конкурентной средой, носящей, как правило, негативный характер. УЗ представляет проблемную ситуацию, характеризующуюся: а) наличием в структуре каждой задачи нескольких учебных целей, определяемых функционально-структурными свойствами рассматриваемых вопросов (подзадач) выделенной ситу-

ации; б) множеством и разнородностью решаемых подзадач с недостаточным уровнем формализации функциональных отношений между ними и в) многовариантностью решения. Их учет и практическое разрешение обуславливает необходимость систематизации и структуризации каждой УЗ на множество подзадач, решаемых с использованием как традиционных форм обучения (лекционные, семинарские и групповые занятия), так и перспективных, на основе информационно-тренажных систем (ИТС) для принятия решений обучающимися по способам применения СТО применительно к определенному множеству условий конфликтного взаимодействия элементов и систем управления конкурирующих ОТС за минимальное время [1]. ИТС используется для решения учебно-тренировочных (тренажных) задач (УТЗ), получающихся структуризацией

УЗ на множество слабоструктурированных задач, разрешаемых методами системного анализа и аналитико-имитационного моделирования, с учетом возможностей с аппаратно-программных средств [1, 2].

В общем случае ИТС используется для имитационного моделирования способов применения конкретных образцов СТО на множество управляемых параметров воздействия конкурентной среды. Цель разработки ИТС является функцией облика (состава, характеристик, порядка функционирования) и способов применения СТО, а также состава, правил и алгоритмов функционирования ее аппаратно-программных средств. Это позволяет задачу разработки ИТС в интересах подготовки обучаемых процессам анализа и обоснования решений по способам применения СТО представить задачей разрешения за минимальное (директивное) время проблемной конфликтной ситуации, представляемой в виде различной сложности УТЗ на множестве заданных условий воздействия конкурентной среды в виде

$$F(V) = \max_i \sum_{i=1}^I R_i(Z_i, O_i, S_i, U_i, P_i, M_i, K_i);$$

$$T^* = \min_i \sum_{i=1}^I \sum_{j \in Z_i} T_j(Z_i); \quad T^* \leq T_c; \quad i = \overline{1, I},$$
(1)

где $F(V)$ – функция эффективности решения обучающимся i -ой УТЗ; V_i – множество допустимых вариантов решения i -ой УТЗ; Z_i – допустимое множество УТЗ; O_i – множество варьируемых параметров ИТС для выбора обучающимся оптимальных способов применения СТО; S_i – множество состояний ИТС в пространстве параметров СТО при решении i -ой УТЗ; U_i – множество управляющих воздействий, направленных на перевод ИТС в состояние решения i -ой УТЗ; P_i – множество архитектурных решений (правил, алгоритмов, команд, операндов), описывающих условия перехода ИТС из одного состояния в другое при решении i -ой УТЗ; M_i – множество аппаратно-программных средств, используемых для решения i -ой УТЗ; K_i – подсистема контроля ИТС за работой обучаемого при решении i -ой УТЗ; T^* – суммарное время решения ИТС множества УТЗ; T_{ij} – время решения обучающимся i -ой j -ой сложности УТЗ; T_c – директивное время решения УТЗ.

Основу разработки ИТС на начальных этапах проектирование составляет задача анализа структуры, характеристик и порядка (алгоритмов) функционирования СТО, который в зависимости от важности, частности и уровня решаемых задач ОТС, конструируется для полного покрытия множества решаемых ею задач на множестве условий конфликтного взаимодействия с конкурирующей ОТС. Структура СТО характеризуется взаимосвязанной и взаимообусловленной совокупностью подсистем управления, информационного обеспечения и исполнения и множеством информационных, энергетических, управляющих, исполнительных, казуаль-

ных, пространственных, временных и других связей между ними. Связи в структуре СТО являются функцией передаваемой / принимаемой информации, объем и показатели качества которой зависят от уровня элементов в структуре ОТС и характера решаемых ими задач. Как правило, СТО функционирует в централизованном режиме управления, для него характерна иерархическая многоуровневая структура и динамическое управление ограниченным ресурсом подчиненных элементов – объектов управления (ОУ).

Разработка СТО основывается на определенных с уровня ОТС технических требованиях для обеспечения решения ею основных задач в операции на множестве условий воздействия конкурентной среды, носящей негативный характер. Исходя из этого разработка СТО начинается из анализа цели (функционального критерия эффективности) его применения – обеспечения действий ОТС в различных формах операций с максимальной эффективностью. В цепочке «цель (задача) – СТО – результат» цель представляет некоторый оператор системной упорядоченности действий СТО, образуя способ его применения. В соответствии с [2], объединенная единством цели совокупность действий для реализации способов применения СТО составляет конструктивную основу для структуризации и выделения функций управления (ФУ), определения их вида, содержания и упорядоченности в виде некоторой функциональной структуры действий для разрешения проблемной задачи. Каждая ФУ характеризуется целью, эффективностью, ресурсом, объектами и характеристиками того или иного вида воздействий и способом реализации для достижения предполагаемого эффекта применительно к определенным условиям конфликтного взаимодействия конкурирующих ОТС. ФУ, исходя из анализа способов применения СТО, классифицируются на внешне- и внутрисистемные функции [2, 3] и наполняются в процессе реализации конкретным содержанием.

Процесс определения ФУ для рассматриваемых способов применения СТО, в котором процедуры обоснования способов и обеспечивающих их реализацию ФУ образуют итерационный процесс выбора из них оптимальных (рациональных) вариантов, составляет основу разработки плана действий. Его основой является определение ФУ, обеспечивающих целенаправленный перевод СТО из текущего в требуемое состояние в интересах повышения эффективности применения ОТС. При этом содержание внешне- и внутрисистемных ФУ характеризует цель, структуру и содержание проблемной ситуации, разрешаемой одной или несколькими УТЗ для определения ЛПР способов применения СТО на множестве способов деструктивного воздействия конкурирующей ОТС, подлежащих структуризации для наполнения конкретным содержанием и установления взаимосвязей. ФУ являются той конструктивной основой, на которой ЛПР (обучаемые) получают практические навыки принятия решений по управлению СТО. При этом внешнесистемные ФУ направлены на приобрете-

ние обучающимися навыков по обоснованию и принятию решений по способам применения СТО для заданных условий взаимодействия конкурирующих ОТС, а внутренние – на разработку элементов плана непосредственного управления ОУ и СТО в целом.

Основу разработки ИТС составляет моделирование способов и приемов управления деятельностью СТО для обеспечения действий ОТС в различных формах операций. Целью же разработки ИТС является обучение ЛПР процессам анализа и принятия решений применительно к классу (нескольким типам) СТО, УТЗ применения которых незначительно отличаются [1]. Это обуславливает необходимость обоснования УТЗ осуществлять применительно к стадиям плана (способам) применения СТО, интегрированных с этапами действий ОТС [3]. То есть определение УТЗ должно осуществляться для определенного класса СТО с последующей их детализацией для конкретного типа, обеспечиваемого соответствующим программным обеспечением. Применение данного подхода к обоснованию УТЗ основывается на деференциации полного множества УТЗ из плана применения СТО по этапам действий ОТС в операции с их последующим покрытием имеющимся ресурсом ОУ (моделируемым конкретным типом СТО) – это и определило цель предлагаемой статьи.

ВНЕШЕСИСТЕМНОЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УТЗ ПРИМЕНЕНИЯ СТО

Содержание УТЗ, вытекающих из анализа плана применения СТО, основывается на выделении внешнесистемных ФУ в виде относительно обособленных устойчиво повторяющихся мероприятий (работ, процедур, операций) для достижения ОТС основной цели в операции. Содержание ФУ основывается на определении способов и приемов управленческой деятельности, обеспечивающих перевод СТО из текущего состояния в требуемое для удовлетворения функционального критерия эффективности его применения. Показателями эффективности ФУ являются показатели, по количественному значению которых при планировании и реализации тех или иных управленческих мероприятий принимаются решения о степени достижения СТО целей поставленных задач. Каждый уровень управления СТО характеризуется своей системой частных показателей эффективности, а критерием эффективности управления им является эффективность выполнения ОТС задач в операции.

Основу управления СТО составляет реализация поставленных с уровня ОТС задач, базирующихся на согласовании между собой всех ФУ, распределения их по времени, месту и ОУ. Процесс разработки вариантов способов применения СТО представляет план, обеспечивающий интеграцию основных ФУ в операции.

Функции управления представляют относительно обособленные функции направленного действия, обеспечивающие выработку и реализацию управляющего воздействия органа управления СТО на подчиненные ОУ; они делятся на основные и частные (конкретные). Применительно к системе управления СТО выделяют основные и частные (конкретные) ФУ, проявляющиеся при реализации способов его применения [2, 3].

Основные ФУ – содержание составляют вопросы, задачи и мероприятия, направленные на поддержание требуемого уровня эффективности применения СТО.

Частные ФУ – представляют результат структуризации направлений управления СТО в зависимости от сложности способов применения и условий применения ОУ.

К основным ФУ относятся функции, которые: реализуются системой управления СТО на всех уровнях; инвариантны частным функциям, например, управление СТО, обеспечивающее весь цикл управления его применения, должно быть спланировано, организовано, проконтролировано и скорректировано; обеспечивают управляемость подчиненных органов и объектов управления. Исходя из [2, 3] в качестве основных ФУ СТО выделяют функции планирования, организации, контроля и корректировки (оперативное управление).

Все основные и частные ФУ реализуются соответствующими должностными ЛПР на основе определенной управленческой деятельности в виде совокупности устойчиво повторяющихся взаимосвязанных мероприятий для обеспечения управляемости ОУ и СТО в целом (см. рис. 1). Каждая функция направлена на реализацию мероприятий (конкретные практические и на уровне мышления действия), необходимых для выполнения каждой основной ФУ. Выполнение каждой основной ФУ осуществляется определенным количеством конкретных только для этой функции управленческих мероприятий ЛПР.

Основу основных ФУ составляет обобщенная функция анализа, обеспечивающая реализацию процессов оценки результатов учета, контроля и фактического состояния СТО или объема управленческих мероприятий на всех стадиях плана и процесса обоснования способов применения для решения поставленных задач, а также установление отклонений от запланированных параметров его применения. Она предшествует принятию решений, направленных на поддержание эффективности функционирования ОУ на запланированном уровне.

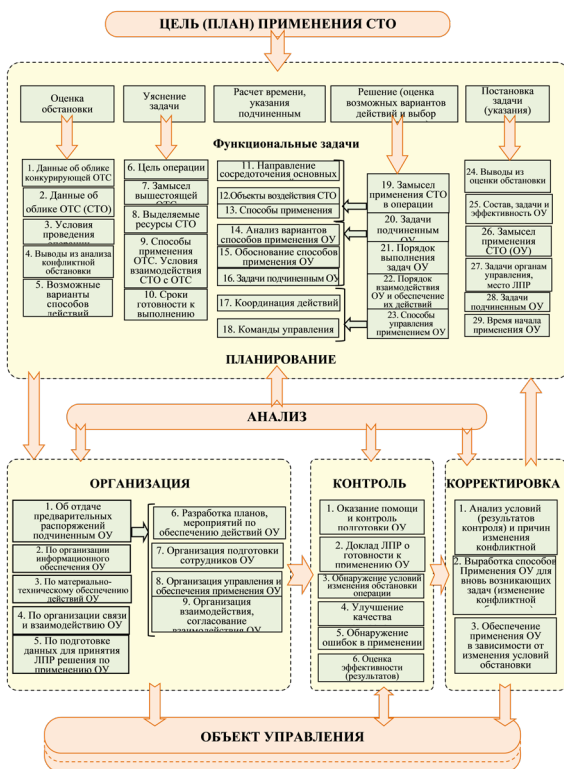


Рис. 1. Основные функции управления применением СТО

Проведенный анализ внешнесистемных ФУ позволяет провести структуризацию процесса управления СТО для обеспечения смены качественных состояний функционирования его ОУ применительно к множеству деструктивных действий конкурирующей ОТС, происходящих в результате последовательной реализации основных ФУ, т.е. функция спланирована, если определены цель и вариант способа ее достижения. Он раскрывает внешнесистемные функции плана, динамику принятия управленческих решений ЛПР по обоснованию предпочтительных способов применения СТО и позволяет сформировать УТЗ применения его ОУ применительно к способам взаимодействия конкурирующих ОТС в операции.

ВНУТРИСИСТЕМНОЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УТЗ ПРИМЕНЕНИЯ СТО

Внутрисистемные ФУ обеспечивают непосредственную реализацию процесса управления применением СТО на основе сохранения его организационной структуры, реализации потенциальных возможностей, поддержания режима устойчивого функционирования и создания необходимых условий для достижения цели ОТС в операции (реализации внешнесистемной функции управления). Содержанием внутрисистемной ФУ (как и внешнесистемной ФУ) являются частные функции: планирование, организация, контроль и корректировка, реализация которых осуществляется ЛПР на основе установленных должностных

обязанностей. Сущность работы ЛПР заключается в выполнении комплекса мероприятий, посредством которых реализуются основные ФУ для выполнения плана применения СТО. Задачи ЛПР органа управления СТО охватывают весь перечень вопросов обеспечения эффективного решения задач подчиненными ОУ в соответствии с их планами применения.

ЛПР органов управления СТО по результатам анализа и уточнения представленных органами управления ОУ предложений (вариантов) плана принимается решение на осуществление планируемого способа применения и выбора оптимального. В общем случае, оно исходя из объективных закономерностей применения СТО, представляет результат субъективной деятельности ЛПР, определяющей цель действий подчиненных ОУ и порядок ее достижения. Решение является результирующим выводом, подводящим итог определенному этапу деятельности ЛПР, позволяющим из множества вариантов выполнения задачи выбрать оптимальный. Принятое решение ЛПР с уровня СТО доводится в виде распоряжений подчиненным должностным ЛПР для разработки планов применения ОУ.

Внутрисистемные ФУ применением СТО обеспечивают: а) раскрытие содержание мероприятий для выполнения внешнесистемных ФУ и б) дальнейшую структуризацию сформированного множества УТЗ для решения задач обеспечения действий ОТС на множестве условий воздействия конкурентной среды.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБОСНОВАНИЯ УТЗ ПРИМЕНЕНИЯ СТО

УТЗ представляется в виде совокупности данных о процессе взаимодействия конкурирующих ОТС, позволяющем ее выделить из всего множества анализируемых данных и сгруппировать в структуре ИТС с другими УТЗ. Ее выделение основывается на результатах классификации на основе отнесения к множеству УТЗ с анализируемыми свойствами и осуществления последующей идентификации – поэкземплярного распознавания.

Множества внешнесистемных и внутрисистемных признаков и идентифицированных и / или классифицированных УТЗ составляют информационную основу их идентификации в структуре ИТС. Выделение в структуре ИТС существенных различий между классами УТЗ, выражающихся через различия в признаках, позволяет осуществить их гомоморфное представление в соответствующих шкалах измерений, для объединения в классы.

В зависимости от содержания анализируемых признаков для их представления при решении задачи классификации / идентификации могут использоваться различные математические способы, основанные на принципах [4]:

- сравнения с эталоном – применяется, когда класс описывается одним или несколькими эталонными УТЗ, т.е. множество УТЗ одного класса задается перечислением его признаков;
- кластеризации – соответствует предикатному способу задания множеств на основе системы ограничений по значениям признаков; каждому классу УТЗ в этом случае сопоставляются определенные интервалы значений признаков;
- общности свойств – соответствует способу задания множеств порождающей процедуры, которая и определяет свойства УТЗ – существенные признаки данного множества.

Основу способов применения СТО составляет задача оптимизации внешне- и внутрисистемных ФУ по этапам операции ОТС, основанная на использовании логико-эвристических методов формирования ФУ и их идентификации для выделения общих. Для этого первоначально в соответствии с третьим принципом проводится конкретизация плана применения СТО и выделение на структурированной совокупности функциональных задач (ФЗ)

конечного множества $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_J\}$ ФУ, выполняемых на стадиях Φ^n планирование, Φ^m организация, Φ^a контроль и Φ^b корректировка. Для каждой ФЗ множества Φ определяются способы их реализации объектами управления СТО, что позволяет осуществить идентификацию j -х ФЗ на основе присвоения каждой из них s -го признака способа решения i -ой УТЗ. При этом каждое из входящих в Φ множеств ФЗ, в зависимости от значения идентификатора s -го способа ее решения в i -ой УТЗ, относится к одному из подмножеств $\Phi^n \subset \Phi$, $\Phi^m \subset \Phi$, $\Phi^a \subset \Phi$, $\Phi^b \subset \Phi$, а $\Phi = \Phi^n \cup \Phi^m \cup \Phi^a \cup \Phi^b$.

Множество всех ФЗ, подлежащих выполнению СТО поэтапно в операции, формально представляется в виде:

$$\Phi = \{\Phi_j = \langle N_j, S_j \rangle | \Phi_j \in \Phi, j = 1, \dots, J\}, \quad (2)$$

где N_j – идентификатор (условный номер, наименование и т.п.) j -ой ФЗ; S_j – идентификатор решения j -ой ФЗ при выполнении i -ой УТЗ.

Это позволяет определить (уточнить) возлагаемые на каждый объект управления СТО перечень Φ функций для снижения качества функционирования объектов воздействия (ОВ) конкурирующей ОТС и осуществить их дальнейшую структуризацию исходя из последовательного выполнения в соответствии с рис. 1 соответствующих ФЗ в виде:

$$\begin{aligned} \Phi^n &= f_1^n \cup f_2^n \cup \dots \cup f_n^n; & n &= 1, \dots, 29; \\ \Phi^m &= f_1^m \cup f_2^m \cup \dots \cup f_m^m; & m &= 1, \dots, 9; \\ \Phi^a &= f_1^a \cup f_2^a \cup \dots \cup f_a^a; & a &= 1, \dots, 6; \\ \Phi^b &= f_1^b \cup f_2^b \cup \dots \cup f_b^b; & b &= 1, \dots, 3; \end{aligned} \quad (3)$$

в которых f_i^j – функция, получаемая в результате декомпозиции φ_j -ой ФЗ.

Уровень декомпозиции $l, l=1, 2, 3, \dots, L$, отражает степень структуризации ФЗ φ_i функции для реализации соответствующим ОУ. Число L уровней декомпозиции функций определяется из условия выполнения Φ внутрисистемных функций ОУ. В результате декомпозиции формируется множество $F = \{F_j\}$ ФУ процессом решения ОУ каждой φ_j ФЗ.

Для всех $f_i^j \in F$ ФУ на основе концептуального представления СТО и принципа системного покрытия ОУ каждой ФЗ проводится их идентификация присвоением признака (идентификатора). Каждая идентифицируемая таким образом $F^{(p)} = (f_i^i, f_i^m, f_i^a, f_i^b, f_i^m, f_i^a, f_i^b, \dots)$ ФУ, далее включается в соответствующее подмножество функций с признаками реализуемости $г$, содержащими символы p, m, a и b в виде:

$$\begin{aligned} A &= \cup_n (f_j^n, f_j^{nm}, f_j^{na}, f_j^{nb}); \\ B &= \cup_m (f_j^m, f_j^{mm}, f_j^{ma}, f_j^{mb}); \\ C &= \cup_a (f_j^a, f_j^{am}, f_j^{aa}, f_j^{ab}); \\ D &= \cup_b (f_j^b, f_j^{bn}, f_j^{bm}, f_j^{ba}). \end{aligned} \quad (4)$$

Следует отметить, что все Φ_j ФУ применением СТО, предназначенные для управления ОУ при решении той или иной j -ой ФЗ входят во все подмножества А-Д, а при идентификации функций, предназначенных для решения Φ_{ij} ФЗ, им присваиваются признаки $г$ реализуемости в составе подмножества А-Д. Схематичное представление общих ФЗ при реализации основных ФУ применением СТО приведено на рис. 2.

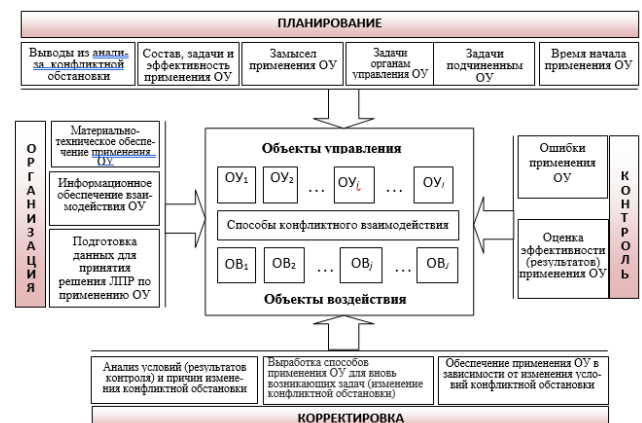


Рис. 2. Схематичное представление обобщенных задач основных ФУ применением СТО

Наличие у идентификатора p нескольких символов порождает пересечение подмножеств $A \subset F, B \subset F, C \subset F$ и $D \subset F$, множество которых имеет вид:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= [F_n^n]; & R_2 &= [F_m^m]; & R_3 &= [F_a^a]; & R_4 &= [F_b^b]; \\
 R_5 &= [F_n^n \cap F_m^m]; & R_6 &= [F_a^a \cap F_b^b]; & R_7 &= [F_m^m \cap F_b^b]; \\
 R_8 &= [F_n^n \cap F_m^m \cap F_a^a]; & R_9 &= [F_n^n \cap F_a^a \cap F_b^b]; & & & & \\
 R_{10} &= [F_n^n \cap F_m^m \cap F_b^b]; & R_{11} &= [F_m^m \cap F_a^a \cap F_b^b]; \\
 R_{12} &= [F_n^n \cap F_m^m \cap F_a^a \cap F_b^b]; & R_{13} &= [F_n^n \cap F_a^a].
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Для наглядности представления множество возможных ФУ применением СТО применительно к обобщенному варианту R_{12} пересечений подмножеств A, B, C и D приведено на рис. 3 в виде диаграммы Эйлера-Венна, на которой рассматриваемые множества отображены окружностями и на плоскости представляются множеством точек. Остальные варианты R_1 - R_{11} пересечений подмножеств A, B, C и D являются его частными случаями.

На основе варианта R_{12} формируется подмножество $W = \{W_J | W_J \in W, J = 1, \dots, |W|\}$ вариантов распределения f_j частных ФУ применением СТО, определяющих возможное подмножество Φ^i, Φ^m, Φ^a и Φ^b функций для их реализации соответствующими ОУ на основе комбинации всех возможных вариантов.

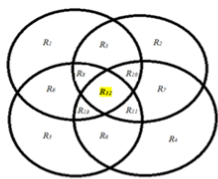


Рис. 3 Диаграмма Эйлера-Венна для $R_{12} = [F_n^n \cap F_m^m \cap F_a^a \cap F_b^b]$ варианта пересечения подмножеств A, B, C и D

Обоснование УТЗ производится на основе последовательной структуризации ФУ применением СТО до уровня конфликта взаимодействующих подчиненных ОУ с соответствующими элементами (ОВ) конкурирующей ОТС, которые по совокупности своих свойств

удовлетворяют требованиям конфликтного взаимодействия ОТС с сохранением внешнесистемных отношений по управлению (подчиненности), информационному обеспечению и исполнению. Как уже отмечалось, i -ая УТЗ ($i \in Z_i$) используется для разрешения проблемной ситуации, характеризуемой взаимозависимой совокупностью параметров состояния соответствующих элементов (определяются типом, характеристиками и алгоритмами функционирования) конкурирующей ОТС (Q_i), элементов ОТС (G_i), способами их конфликтного взаимодействия (C_i) и условиями внешней среды (Y_i), зафиксированными на рассматри-

ваемый момент времени. Ее выделение базируется на систематизации, формализации и идентификации свойств элементов конкурирующих ОТС на уровне проблемной ситуации, определяющей их взаимосвязи и зависимости как функций тактико-технических характеристик.

В общем виде задача по определению i^* УТЗ формулируется следующим образом: требуется из Θ множества Z_i возможных задач (решений) найти

$$\begin{aligned}
 i^* &\in Z_i, \quad i = \overline{1, \Theta}; \\
 i^* &= (q_i)^* \wedge (g_i)^* \wedge (y_i)^* \wedge (c_i)^*;
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$(q_i)^* \in Q_i; \quad (g_i)^* \in G_i; \quad (y_i)^* \in Y_i; \quad (c_i)^* \in C_i$$

такое, для которого отображение из $\{i^*\} \rightarrow Z_i$ однозначно идентифицирует разбиение множества Z_i на k -ые классы эквивалентных УТЗ, в каждый из которых входят i^* типовые с позиции СТО.

Процесс выделения УТЗ определяется количеством и содержанием рассматриваемых признаков. Каждая УТЗ характеризуется совокупностью различного типа и физической сущности признаков и методами приведения данных признаков к оптимальному виду для вычислительной обработки.

Построение классов эквивалентных УТЗ Z_1, Z_2, \dots, Z_k осуществляется посредством вводимых элементарных признаков (i -ая УТЗ входит в один из этих классов Z_i , если она обладает элементарными признаками, характеризующими этот класс). Задачи множества Z – возможные УТЗ, которые не входят ни в один из классов Z_1, Z_2, \dots, Z_k , например, отсутствуют ОУ для их решения, определяется через Z_{k+1} . Классы Z_1, Z_2, \dots, Z_k строятся посредством фиксированных аксиоматических правил; последний класс Z_{k+1} однозначно определяется заданием классов Z_1, Z_2, \dots, Z_k .

Каждая $i^* \approx Z_k$ УТЗ характеризуется множеством признаков

$\Omega, \omega_i \in \Omega$ различной физической природы и содержания, перечень которых вытекает из анализа характеристик ОУ СТО и элементов конкурирующей ОТС. Под признаком понимается характеристика, способная обеспечить нахождение таких классов УТЗ, которые позволяют исключить неоднозначные решения по нахождению.

Размерность пространства признаков, согласно [5], увеличивается $Z_1, Z_2, \dots, Z_k, Z_i \cap Z_j = \emptyset, i \neq j$ и $\bigcup_i Z_i = Z$.

до тех пор, пока любые два класса УТЗ не будет линейно разделено. Когда уже определены классы $Z_1, Z_2, \dots, Z_k, Z_{k+1}$, выделение УТЗ осуществляется с использованием, например, метода линейного «развала на кучи» [6].

Определение же элементарных признаков (вектора) $Q_i (G_i, C_i)$ производится факторизацией пространства характеристик элементов конкурирующей ОТС, вытекающих из анализа номенклатуры выполняемых ими функций и возможностей элементов СТО по информационному воздействию на них. Вектор $Q_i (\dots)$ характеризуется $j=1, \dots, K$ – множеством показателей качества каждого элемента конкурирующей ОТС, $x=x_i, \dots, K$ – множеством порядковых шкал показателей качества (абсолютных шкал для количественных значений характеристик элементов) и $j=1, \dots, K$ – числом градаций по шкале j -го показателя качества.

Предполагается, что имеющиеся значения на шкале каждого показателя качества перенумерованы в порядке убывания их качества (лучшей градации по j -му показателю качества соответствует его наибольшее значение, а худшей – ω_j). Тогда $x_j = (\max, \dots, \omega_j)$.

С учетом этого, вектор Q_i в общем виде представляется зависимостью

$$\begin{aligned} Q_i &= q_{i1} \wedge q_{i2} \wedge \dots \wedge q_{ij} \wedge \dots \wedge q_{iK}; \\ q_{ij} &\in Q_j, \quad q_i = (q_{i1}, \dots, q_{iK}); \\ L &= |Q_j| = \prod_{j=1}^K \omega_j; \quad j = \overline{1, K}, \end{aligned} \quad (7)$$

где K и q_{ij} – соответственно множество и идентификаторы показателей качества конкурирующей ОТС; Q_j – градация по шкале j -го показателя качества, приписанная векторной оценке q_{ij} ; L – мощность множества Q_j .

Определение числовых значений q_{ij} – элементарных признаков j -ых показателей (по X_j их порядковых шкал) вектора Q_i осуществляется на основе антирефлексивного и транзитивного отношений строгого доминирования P^0 , определяемого на Q_i порядковостью шкал показателей качества с учетом частности (f_{ij}) появления оценок, по формуле

$$\begin{aligned} P^0 &= \{(q_{ij}, q_{i+1,j}) \in Q_j \times Q_j / \forall i = 1, \dots, \Theta', \\ q_{ij} &\leq q_{i+1,j} / f_{ij} \leq f_{i+1,j}\}, \end{aligned} \quad (8)$$

когда $\exists P \ q_{jp} < q_{ip+1} / f_{jp} < f_{ip+1}; \quad q_j \in Q_j; \quad \Theta' \in \Theta;$

$$f_{ij} = q_{ij} / \sum_{j=1}^{\Theta'} q_{ij},$$

где Θ' – число вариантов решений.

В соответствии с этим выбор предпочтительного решения на Q_j представляется в виде поиска решения на

$f: Q_j \rightarrow \{q_{ij}, i = 1, \dots, \Theta'\}, \bigcup_{j=1}^{\Theta'} q_{ij} = Q_j$ такого, что если

$\exists (\forall i = 1, \dots, \Theta') q_{ij} / f_j \in P^0$ и $q_j / f_j \in Q_j$, то $q_{1j} \in Q_k$

$k > l, \Theta' \in \Theta$. Отсюда следует, что никакая оценка из Q_j не может быть отнесена к менее предпочтительному решению на выбор элементарных признаков, чем та, над которыми она доминирует.

Если $\{q_j : Q_j\} \Rightarrow q_j = q_j^*$, то с учетом этого значение наиболее предпочтительной оценки вектора Q_j может быть определено как $(q_j)^* = \bigcup_{j=1}^K (q_{ij})^*$.

Поступая аналогичным образом, определяются вектора $G_i (\dots)$ и $C_i (\dots)$ с использованием соответствующего множества показателей качества путем установления отношений

$\hat{a}Rb \Leftrightarrow (a, b) \in R, R \subset a \times b$ на множестве Z_i . Совокупность задач, для которых выполнено данное условие, обеспечивает формирование возможного $\overline{\Omega}$ множества УТЗ. Порождение же допустимого множества УТЗ осуществляется на основе исключения из $\overline{\Omega}$ УТЗ, для которых подчиненными объектами управления СТО не выполняются условия $\hat{a}Rb \Leftrightarrow (a, b) \notin R$. Это обеспечивает осуществить обоснованный выбор Ω множества допустимых УТЗ обеспечения СТО действий целевой ОТС в различных формах операций.

В заключение следует отметить, что предложенный метод позволяет на основе морфологического анализа информационного процесса конфликтного взаимодействия ОТС выделить основные ФУ применением СТО, декомпозиция которых до уровня функциональных задач обеспечивает формирование полного множества УТЗ. Анализ возможностей ОУ по их выполнению обеспечивает формирование допустимого множества УТЗ – основы разработки ИТС подготовки специалистов (ЛПР) по разрешению проблемных ситуаций управления применением СТО в различных формах операций.

Список использованных источников и литературы

1. Мистров Л.Е., Поляков О.В. Метод синтеза интеллектуальных тренажерных систем подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационные системы и технологии. 2021. № 6 (128). С. 78–82.
2. Мистров Л.Е., Поляков О.В. Метод обоснования учебных задач применения сложных технических объектов // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Том 77. № 1. С. 69–80.
3. Мистров Л.Е. Методологические основы формализации процесса разработки плана применения организационно-технических систем // Информационные системы и процессы. 2022. №5 (133). С. 73–82.
4. Сазонов К.В., Татарка М.В. Многопараметрическая модель формирования признаков описаний объектов для исследования свойств алгоритмов классификации // Наукоемкие технологии. 2022. Т. 23. № 7. С. 50–69.
5. Васильев В.И., Овсянникова Ф.П., Боекмуратов К.А. Разделяющая сила признаков в задачах обучения распознаванию методом предельных упрощений // Автоматика. 1987. № 4. С. 27–33.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

METHOD OF SUBSTANTIATION OF EDUCATIONAL TRAINING (SIMULATION) TASKS OF APPLICATION OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

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

Polyakov O.V., Teacher of the VUNC VVS «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»

The issues of training specialists in the use of complex technical objects (CTO) in the course of decision-making arising from the analysis of the construction and methods of using objects in various forms of operations as purposeful sets of actions on a variety of scenarios of confrontation in a competitive environment in order to improve the efficiency of management of organizational and technical systems (OTS) are considered. The educational task presents a problem situation of varying complexity, which the student solves both in the traditional format and on the basis of information and training systems (ITS) in conditions of time and resource constraints.

The purpose of ITS development is conceptually represented as a function of the appearance and methods of CTO application based on the system paradigm of information interaction of hardware and software, axiomatic rules of their functioning. A feature of ITS development is the complex modeling of all types of purposeful activities of the service station to ensure the actions of the OTS in various forms of operations. The implementation of the method makes it possible, based on the morphological analysis of the information process of conflict interaction of OTS, to identify the main control functions of CTO, the decomposition of which to the level of functional tasks ensures the formation of a complete set of training (simulator) tasks.

Keywords: educational and training (simulation) task, complex technical object, information and training system, organizational and technical system, planning, adjustment, efficiency.

References

1. Mistrov L.E., Polyakov O.V. Synthesis method of intelligent training systems for training specialists in the application of radio-electronic objects // Information systems and technologies. 2021. No. 6 (128). Pp. 78–82.
2. Mistrov L.E., Polyakov O.V. The method of substantiation of educational tasks for the use of complex technical objects // Successes of modern radio electronics. 2023. Volume 77. No. 1. Pp. 69–80.
3. Mistrov L.E. Methodological bases of formalization of the process of developing a plan for the application of organizational and technical systems // Information systems and processes. 2022. No. 5 (133). Pp. 73–82.
4. Sazonov K.V., Tatarka M.V. Multiparametric model for the formation of feature descriptions of objects for the study of the properties of classification algorithms // Naukoemkie tekhnologii. 2022. V. 23. No. 7. S. 50–69.
5. Vasiliev V.I., Ovsyannikova F.P., Boekmuratov K.A. The separating power of features in the problems of learning recognition by the method of limiting simplifications // Avtomatika. 1987. No. 4. Pp. 27–33.
6. Pospelov D.A. situational management. Theory and practice. – M.: Nauka, 1986. – 288 p.

ФОРМИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Шевкунов М.А., соискатель, ФГБУ «Институт стандартизации»

На основе методов системного анализа, концептуально-логического моделирования, формально-логической разработки и обоснования структур распределенных информационно-управляющих систем, проведен анализ элементов и подсистем декомпозированных контуров управления беспилотными объектами. Для обеспечения свойств автономности, адаптивности, устойчивости функционирования, а также при построении практических моделей беспилотных объектов предложено использовать аппарат интеллектуальных агентов гибридной структуры, на основе BDI-архитектуры (Убеждения – желания – намерения). Показано, что целесообразно использовать единый многоагентный подход при формировании беспилотных систем, как на уровне объекта управления, так и на уровне автоматизированной информационно-управляющей системы (АИУС), обеспечив интеллектуальную поддержку при выполнении целевых задач. Предлагается на уровне АИУС обеспечить информационное комплексирование подсистем координации и планирования, обработки информации с базой данных и знаний для корректировки планов и сценариев в ходе целевого управления.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, беспилотный объект, интеллектуальный агент, многоагентная система, BDI-архитектура.

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные объекты все активнее используются во многих прикладных задачах, связанных с мониторингом поверхности Земли [1, 2], доставкой грузов различного назначения, включая пассажирские перевозки, управлением транспортных потоков на автотрассах [3], поддержкой принятия решений на управление [4] и многие другие. Применительно к беспилотной авиации действующим ГОСТом рекомендуется использовать термин беспилотное воздушное судно (БВС), «управляемое в полете пилотом, находящимся вне его борта, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту»¹.

Круг задач, решаемых беспилотными объектами, значительно расширяется, когда объекты задействуются в составе группы. Это позволяет значительно сокращать время съемки местности, распределяя объекты оптимальным образом [5], в том числе и с учетом важности выбранных целей [6], используя интеллектуальные алгоритмы координации действий в группе [7, 8] и многоагентный подход при разработке моделей для исследования свойств и характеристик беспилотных объектов [9].

Организация группового выполнения целевых задач требует создания команд агентов, когда итоговый результат обеспечивается за счет кооперации, взаимосвязи членов группы, взаимозависимости, что обеспечивает наибольший эффект и эмерджентное качество совместных действий [10]. Применяемые для моделирования командных действий многоагентные системы основываются на интеллектуальных агентах с BDI-архитектурой, когда агент использует компоненты: Beliefs (убеждения), Desires (желания), Intentions (намерения). Компоненты агента определяются таким образом: убеждения представляют собой информацию, которую имеет агент о текущем состоянии среды; желания представляют собой состояния, к которым агент стремится (они могут включать также и цели); намерения представляют собой текущие рабочие цели, которые ведут к действиям агентов [11].

Анализируя области значений этих компонентов, формируя междисциплинарные взаимодействия в ходе решения задач управления, планирования, поддержки принятия решений в организационных структурах функциональных подсистем автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) [11], представим многоагентный подход на основе когнитивных агентов, как основу для разработки концепции построения моделирующих систем для анализа и обоснования сценариев информационного вза-

¹ ГОСТ Р 57258–2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. (Введ. 2017–06–01); (см. п. 3.1.1).

имодействия подсистем автоматизированных комплексов управления применением беспилотных систем.

МНОГОАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, СУЩНОСТЬ И СВОЙСТВА

Под агентом будем понимать физический/программный объект, который оценивает собственное состояние, состояние других объектов и окружающей среды для выполнения своих действий, включая прогнозирование и планирование, которые максимизируют успешность, в том числе при неожиданном изменении оцениваемых состояний, достижения своих целей².

В многоагентных системах (МАС) существует проблема, заключающаяся в организации коллективного взаимодействия [13]. В качестве механизмов организации такого взаимодействия, как правило, используются различные методы коммуникации. Оно может быть реализовано, например, с помощью стигмергии (общение через изменение параметров среды). Подобное общение может происходить как между всеми членами коллектива, так и ограничиваться локальными взаимодействиями. Передаваемая информация может состоять [11] из планов агентов, их целей, информации об окружающей обстановке в виде интеграционных компонентов, которые могут быть использованы агентами выборочно, а также описания внутренних параметров агентов и др.

² ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. (Введ. 2021-03-01); (п. 3.4).

Расширение функционала МАС позволяет представлять ее, как интеллектуальную систему, реагирующую на воздействия внешнего мира, формирующую свою реакцию на эти воздействия в виде ответных действий назначенными для этого агентами [14]. Основная особенность МАС с системной точки зрения – это ее эмерджентность, то есть способность предоставлять решения, выходящие за рамки индивидуальных возможностей каждого участвующего агента [15].

Разнообразие подходов к делегированию функций агентам и выполняемые ими задачи позволяет представить их в виде Таблицы, сгруппировав свойства агентов с учетом следующих выделенных признаков: поведение, способности, локация [16].

Локация (пространственная и/или информационная) предполагает поиск и идентификацию объектов с применением активных физических средств или априорных данных (знаний). Так для робототехники – это умение ориентироваться в заданном рабочем пространстве (обход препятствий, построение оптимальных маршрутов, а также автоматическая навигация по изображениям в условиях априорной неопределенности внешней среды [17]).

Показатель значимости (см. таблицу) предполагает оценку релевантности³, указывающую, встречается ли рассматриваемое свойство в качестве существенного или второстепенного.

³ Словарь по кибернетике / Под ред. В. С. Михалевича. 2-е изд. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. – 751 с. – (С. 48).

Сводка основных свойств агента

ПРИЗНАКИ	СВОЙСТВА	ОПИСАНИЕ	ЗНАЧИМОСТЬ*
Локация	Ситуационность	Агент находится внутри информационной среды и/или является ее частью	1
	Мобильность	Возможность перемещаться по сетям и перемещаться между различными вычислительными модулями	2
Способности	Автономность	Способность к самостоятельному формированию целей и функционированию с самоконтролем своих действий и внутреннего состояния	1
	Реактивность / восприятие	Способность воспринимать окружающую среду с помощью датчиков, при этом восприятие относится к мгновенному вводу, а последовательность восприятия - к полной истории (сценарию)	1
	Способность к коммуникации	Агенты общаются с другими агентами и даже с людьми	1
	Робастность	Поведение агента не подвержено малым изменениям (колебаниям) в свойствах (состоянии) среды	2
	Гибкость	Способность выполнять широкий круг задач, т. е. агент может выбирать из многочисленных вариантов поведения	2
	Адаптивность	Агент адаптации учится, т. е. использует предыдущий опыт для изменения окружающей среды	2
Поведение	Реактивность	Агент своевременно реагирует на изменения в окружающей среде	1
	Проактивность	Способность проявлять инициативу, т. е. самостоятельно генерировать цели и действовать рационально для их достижения. Агенты следуют процессу обсуждения, который включает в себя рассуждения, планирование, ведение переговоров и координацию с другими агентами	2
	Рациональность	Ожидается, что агенты будут выбирать действия, которые максимизируют их ожидаемую производительность	2
	Тактика	Способность устанавливать множественные цели и, вне зависимости от найденных им обстоятельств, решать, каким частным целям активно следовать в текущий момент	2
	Социальность	Способность согласовать свое поведение с поведением других агентов в условиях определенной среды, в том числе и выполнение постоянных обязательств	1

*Значимость признака: 1 – существенная; 2 – второстепенная.

Базируясь на данных свойствах, существуют различные подходы к классификации агентов, наиболее полно представленные в [1, 2]. Так на основе внутреннего представления внешнего мира, выделяются интеллектуальные и реактивные агенты. К интеллектуальным относят агентов, которые способны проводить осмысленные или когнитивные действия, строить рассуждения при выборе решений, осуществлять коммуникативные связи с внешними объектами (агентами, средой), а также управление ресурсами, формированием баз знаний. Реактивные агенты способны только реагировать на ситуацию (при условии, если она «заложена» в его сценарную базу возможных действий). Строить многоэтапные прогнозы, планировать свои действия в зависимости от реальной обстановки, делать выводы реактивные агенты не могут. Для ряда практических задач чаще используют агентов с гибридной архитектурой, сочетающей достоинства, как когнитивных, так и реактивных агентов, так как большинство выполняемых даже простых действий сочетает отдельные «механические» операции – рефлексии и последовательности операций, строго распределенные, например, по времени. Под понятием «архитектура» будем понимать «фундаментальную организацию системы, реализованную в ее компонентах, их взаимосвязей друг с другом и с окружающей средой, а также руководящие правила проектирования и развития системы»⁴.

Будем рассматривать модельно-функциональную структуру интеллектуального агента (ИА) на внутреннем (объектовом) и внешнем – системном уровне управления. Сложность решаемых задач требует применения системного подхода [3, 4] на обоих уровнях. Тогда на уровне выполнения задач отдельным ИА осуществим декомпозицию выполняемых им задач на функциональные подсистемы, представленные в виде гибридной схемы на рис. 1. На рис. 1 показаны входные данные агента, выход вырабатываемых управляющих действий, база знаний (БЗ), пополнение которой обеспечивается подсистемой коммуникаций (К), а оперативное использование БЗ подсистемой анализа и планирования (АП). Подсистема взаимодействия (В) обеспечивает интерфейсные функции между подсистемами [5] ИА, реактивная подсистема (Р) обеспечивает поведение агента за счет алгебры действий, ментальная (М) подсистема обеспечивает обоснованное принятие решения в текущих условиях, в оперативном пространстве, корректируя при необходимости намеченный план действий.

Архитектуру ИА на уровне отдельного объекта управления (технологического процесса) будем понимать, как внутреннюю структуру агента, включающую его функциональные подсистемы, представим следующим выражением:

$$St_a = \{S_i^a, i = \overline{1, n}\}, \quad (1)$$

где St_a – структура агента из множества разнотипных агентов;

S_i^a – структура i – й подсистемы ИА, представленных на рис. 1, для некоторого агента a . В данном представлении для шести подсистем $i=1,2,\dots,6$, соответственно, {К, В, М, Р, АП, БЗ}.

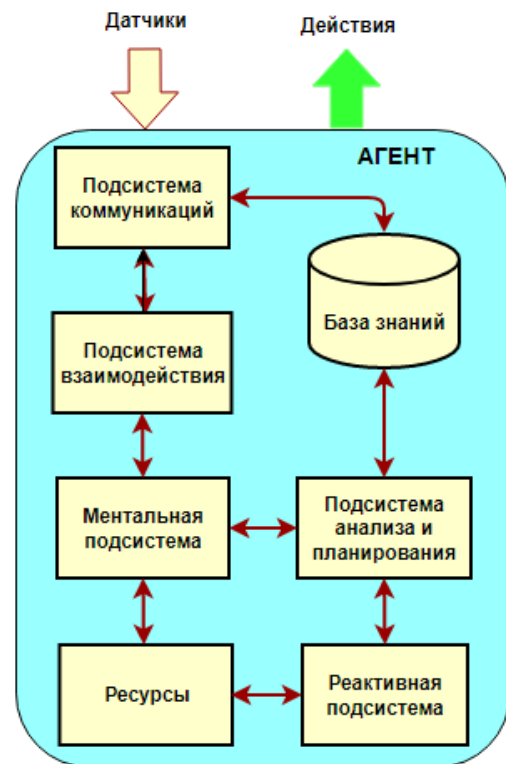


Рис. 1. Структура интеллектуального агента

BDI-архитектура (Belief-Desire-Intention) – один из примеров подобных гибридных архитектур агентов, в которой представлены ментальные состояния агента в терминах его убеждений, целей и намерений [6, 7]. Каждая составляющая у абстрактного агента индивидуальна и может меняться по мере работы агента в некоторой среде. Убеждения (Belief) – это в простейшем случае наблюдения агента о текущем состоянии мира. Желания (Desire) – это описание целевого состояния мира или его части. Намерения (Intention) – это в некотором смысле его доступные действия или ресурсные возможности, имеющиеся планы (сценарии) действий. Так как каждый интеллектуальный агент с BDI – архитектурой имеет свою индивидуальную модель мира (окружающей среды), которая может меняться. При этом могут изменяться цели ИА, убеждения и предпочтения в зависимости от меняющейся обстановки (изменения состояний среды), в которой находится ИА. Тогда для решения задач в составе группы ИА необходимо, в пер-

⁴ ГОСТ Р 55062–2012 Информационные технологии. Интероперабельность. Основные положения. (Введен 2022–04–30); (п. 3.1.1).

вую очередь, договориться об общей понятийной системе и концептуальном каркасе среды.

Для системного уровня управления представим автоматизированную систему (АС) в виде инвариантного контура управления на рис. 2. Инвариантность в данном подходе подразумевается относительно объекта управления [1, 2], в качестве которого может выступать технологический процесс (ТП), тогда рассматривают АСУТП, для управления движением разрабатывается АСУД, для задач автоматизированного проектирования известны системы САПР⁵. Интеграция с задачами ИА представлена в виде отдельных блоков (Убеждений, Желаний и Намерений) с привязкой к функционалу выделенных основных подсистем АСУ [1]. Во многом данная структура может быть реализована в рамках многих киберфизических систем различного масштаба: от беспилотного объекта до интегрируемых технологий умных городов [1, 2].

В качестве функциональных подсистем АИУС выделим следующие: подсистему измерений (ПИ); подсистему обработки информации (ПО); подсистему принятия решений (ППР); подсистему координации и планирования (ПКП). Отдельными подсистемами могут быть представлены информационного обмена в процессе взаимодействия указанных подсистем, функция формирования базы данных и знаний (БДЗ), однако в данном примере эти задачи будем рассматривать как вспомогательные.

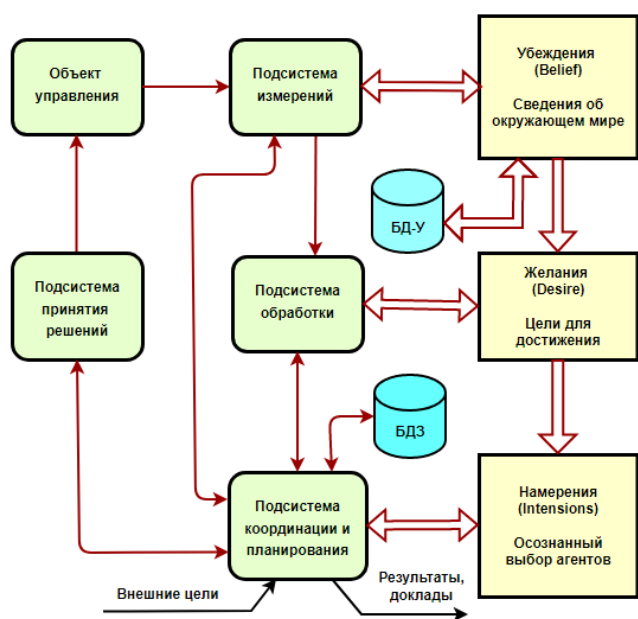


Рис. 2. Структура инвариантного контура управления АИУС в интеграции с BDI-архитектурой

Для решения подобных функционально нагруженных задач воспользуемся многоагентным подходом, позволяющим на концептуальном уровне формировать требования к системе на этапах проектирования, моделирования, разработки и испытания опытного образца.

Представим процессы взаимодействия подсистем и элементов в структуре АИУС в виде многоагентной системы (МАС):

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

где E – среда (информационное пространство) для рассматриваемой АИУС; множество A – разнотипных агентов; $St_{ORG} = \{st_j\}, j = (1, S)$ – множество организационно-информационных структур; R – семейство базовых отношений между агентами, включающее объединение следующих трех типов отношений:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \tag{3}$$

где $R_1 = \{ПКП \leftrightarrow (ПО, ПИ, ППР, БДЗ); ПИ \leftrightarrow ПО; ППР \rightarrow ОУ; ОУ \rightarrow ПИ\}$ – множество горизонтальных (симметричных) отношений между выделенными подсистемами, включая взаимодействие с объектом управления (ОУ); R_2 – множество асимметричных (сетевых) отношений, осуществляемые назначенным агентом для получения внешних директив (распоряжений, установок) и формирования отчетов об их выполнении; R_3 – множество ассиметричных отношений между объектами (подсистемами) функциональной среды АИУС и ИА (объектами) BDI – архитектуры, обеспечивая «осознанный» выбор действий, реализуя выбранный план или сценарий действий.

Возможные варианты технологического взаимодействия на базе агентного представления укладывается в логику выражения (2) и могут быть формализованы в виде следующего кортежа:

$$Int = \langle A, Pr \rangle, \tag{4}$$

где Int – взаимодействие (interaction) агентов из множества A ; Pr – множество программ (стандартов) взаимодействия между агентами, реализуя, подход, представленный на рис. 2;

$$Pr = (Com, \pi), \tag{5}$$

где Com – множество коммуникативных действий между ИА и агентами выделенных подсистем

$$Com = (A_{BDI} \leftrightarrow \Phi\{ПО, ПИ, ППР, БДЗ, ПКП\}).$$

⁵ ГОСТ Р 59853–2021. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. (Введен. 2022–01–01).

Здесь A_{BDI} – подмножество BDI- агентов; π – протоколы типовых действий (запись информации, копирование данных, передача данных, отображение и др.).

BDI – подход позволяет реализовать управление действиями ИА на основе знаний, полученных в результате рассуждений или в оперативной обстановке по результатам текущего мониторинга, например, целей противника или охраняемого объекта. В этом случае ИА принимает решение о перераспределении целей между участниками группы агентов (MAC), сообщая полученные координаты целей, или выполняет целевую задачу сам. Типичный процесс рассуждения в BDI – подходе состоит из следующих шагов: 1) выбор плана, соответствующего цели; 2) выбор плана, соответствующего убеждениям; 3) выбор плана с наивысшим приоритетом / наибольшей полезностью,

который после этого становится намерением; 4) выполнение последовательности действий выбранного плана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предлагаемый подход к формированию многоагентной систем на базе интеллектуальных агентов в информационных системах управления сложными динамическими объектами сочетает в себе достоинства подходов MAC и объектов с BDI – архитектурой, что является перспективным инструментом для отработки задач целевого применения, моделирования действий для выработки требований на этапе проектирования и разработки новых автономных систем, расширяя диапазон таких жизненно важных свойств автономности, как самоорганизация, адаптивность, отказоустойчивость и другие.

Список использованных источников и литературы

1. Оценка и оптимизация качества мониторинга территориально-распределенных объектов, проводимого с помощью беспилотных летательных аппаратов / М.И. Ломакин, А.В. Докукин, О.Ю. Сланчак [и др.] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 3 (67). С. 39–42.
2. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Оценка качества беспилотных авиационных систем мониторинга окружающей среды // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2017. № 6 (40). С. 4.
3. Дао Ч.Н., Парамонов А.И. Анализ структуры сетей связи на базе беспилотных летательных аппаратов // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016): материалы XIX международной научной конференции: в 3 т., Москва, 21–25 ноября 2016 года / Под общ. ред. В.М. Вишневецкого и К.Е. Самуйлова. Т. 3. – М.: РУДН, 2016. – С. 92–100.
4. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 199–202.
5. Каляев И.А., Капустян С.Г., Усачев Л.Ж. Метод решения задачи распределения целей в группе БЛА сетевцентрической системой управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 12 (185). С. 55–70.
6. Халимов Н.Р., Мефедов А.В. Распределенная сетевцентрическая система управления группой ударных беспилотных летательных аппаратов // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 3. С. 1–13. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10301>
7. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Прикладные аспекты автоматизации управления летающими роботами // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2015. № 6 (28). С. 2.
8. Городецкий В.И. Поведенческие модели киберфизических систем и групповое управление: основные понятия // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 1 (203). С. 144–162. – <https://doi.org/10.23683/2311-3103-2019-1-144-162>
9. Бурый А.С., Фомичев И.Д. Мультиагентные модели управления группами автономных летательных аппаратов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2013. № 2 (12). С. 6.
10. Кулинич А.А. Модель командного поведения агентов в качественной семиотической среде. Часть 1. Качественная среда функционирования. Основные определения и постановка задачи // Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. № 3. С. 38–48.
11. Ровбо М.А., Овсянникова Е.Е. Методы локального планирования поведения агентов с BDI-архитектурой // Искусственный интеллект и принятие решений. 2019. № 1. С. 74–86. – <https://doi.org/10.14357/20718594190107>
12. Бурый А.С., Усцелемов В.Н. Информационная безопасность автоматизированных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 2 (72). С. 31–37.
13. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.

14. Маслобоев А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12, № 1. С. 113–124.
15. Herrera M. et al. Multi-agent systems and complex networks: Review and applications in systems engineering // Processes. 2020. Vol. 8. № 3. С. 312.
16. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26>
17. Локация мобильного робота с использованием структурного анализа изображений / М.И. Евстигнеев, Ю.В. Литвинов, В.В. Мазулина, М.М. Чашина // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 9. С. 858–862.
18. Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Разработка когнитивных агентов для Smart системы управления // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 4 (14). С. 39–43.

FORMATION OF UNMANNED SYSTEMS BASED ON HYBRID ARCHITECTURES OF INTELLIGENT AGENTS

Shevkunov M.A., candidate for a degree, Russian Standardization Institute

Based on the methods of system analysis, conceptual and logical modeling, formal and logical development and justification of the structures of distributed information and control systems, the analysis of elements and subsystems of decomposed control circuits of unmanned objects is carried out. To ensure the properties of autonomy, adaptability, stability of functioning, as well as in the construction of practical models of unmanned objects, it is proposed to use the apparatus of intellectual agents of a hybrid structure based on BDI architecture (Beliefs – desires – intentions). It is shown that it is advisable to use a single multi-agent approach in the formation of unmanned systems, both at the level of the control object and at the level of the automated information and control system (AICS), providing intellectual support in the performance of target tasks. It is proposed at the AICS level to provide information integration of coordination and planning subsystems, information processing with a database and knowledge to adjust plans and scenarios during target management.

Keywords: automated information and control system, unmanned object, intelligent agent, multi-agent system, BDI architecture.

References

1. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Slanchak O.Yu. [et al.] Otsenka i optimizatsiya kachestva monitoringa territorial'no-raspredelennykh ob"ektov, provodimogo s pomoshh'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 3 (67), pp. 39–42. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Otsenka kachestva bespilotnykh aviatsionnykh sistem monitoringa okruzhayushhej sredy. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2017, no. 6(40). P. 4. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Dao CH.N., Paramonov A.I. Analiz struktury setej svyazi na baze bespilotnykh leta-tel'nykh apparatov. Raspredelennye komp'yuternye i telekommunikatsionnye seti: upravlenie, vychislenie, svyaz' (DCCN-2016): materialy XIX-j mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii: v 3 tomakh, Moskva, 21–25 noyabrya 2016 goda. Pod obshhej redaktsiej V.M. Vishnevskogo i K.E. Samujlova. Vol. 3. Moscow, RUDN publ., 2016, pp. 92–100.
4. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Podkhod k postroeniyu sistem podderzhki prinyatiya reshenij pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Transportnoe delo Rossii, 2015, no. 6, pp. 199–202. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Kalyaev I.A., Kapustyan S.G., Usachev L.ZH. Metod resheniya zadachi raspredeleniya tselej v gruppe BLA setetsentricheskoy sistemoy upravleniya. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki, 2016, no. 12(185), pp. 55–70.
6. Khalimov N.R., Mefedov A.V. Raspredelennaya setetsentricheskaya sistema upravleniya gruppoj udarnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti, 2019, no. 3, pp. 1–13. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10301>
7. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Prikladnye aspekty avtomatizatsii upravleniya letayushchimi robotami. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2015, no. 6(28). P. 2. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Gorodeckij V.I. Povedencheskie modeli kiberfizicheskikh sistem i gruppovoe upravlenie: osnovnye ponyatiya. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki, 2019, no. 1(203), pp. 144–162. <https://doi.org/10.23683/2311-3103-2019-1-144-162>
9. Buryi A.S., Fomichev I.D. Mul'tiagentnye modeli upravleniya gruppami avtonomnykh letatel'nykh apparatov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2013, no. 2(12). P. 6. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Kulinich A.A. Model' komandnogo povedeniya agentov v kachestvennoj semioticheskoy srede. CHast' 1. Kachestvennaya sreda funkcionirovaniya. Osnovnye opredeleniya i postanovka zadachi. Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij, 2017, no. 3, pp. 38–48.
11. Rovbo M.A., Ovsyannikova E.E. Metody lokal'nogo planirovaniya povedeniya agentov s BDI-arhitekturoj. Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij, 2019, no. 1, pp. 74–86. <https://doi.org/10.14357/20718594190107>

12. Buryi A.S., Uscelemov V.N. Informacionnaya bezopasnost' avtomatizirovannyh sistem. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, no. 2(72), pp. 31–37. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizaciyam: filosofiya, psihologiya, informatika. Moscow, Editorial URSS publ., 2002, 352 p. (In Russ.)
14. Masloboev A.V. Gibridnaya arhitektura intellektual'nogo agenta s imitacionnym apparatom. Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 113–124.
15. Herrera M., Pérez-Hernández M., Kumar Parlikad A., Izquierdo J. Multiagent systems and complex networks: Review and applications in systems engineering. Processes, 2020, 8(3), 312. <https://doi.org/10.3390/pr8030312>. (In Engl.).
16. 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., abstr. in Engl.).
17. Evstigneev M.I., Litvinov Yu.V., Mazulina V.V., Chashchina M.M. Lokaciya mobil'nogo robota s ispol'zovaniem strukturnogo analiza izobrazhenij. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 2017, vol. 60, no. 9, pp. 858–862. (In Russ., abstr. in Engl.).
18. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Razrabotka kognitivnyh agentov dlya Smart sistemy upravleniya. ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii, 2019, no. 4 (14), pp. 39–43. (In Russ., abstr. in Engl.).