

ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС — научно-техническому прогрессу России



- МАШИНОСТРОЕНИЕ
- ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА
- ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
- СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ
И ИЗМЕРЕНИЯ



4'2021



Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России
(4 выпуска)
Подписной индекс **79379**
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал
Конструкции из композиционных материалов
(4 выпуска)
Подписной индекс **80089**
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал
Информационные технологии в проектировании и производстве
(4 выпуска)
Подписной индекс **79378**
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал
Экология промышленного производства
(4 выпуска)
Подписной индекс **80090**
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал
Вопросы защиты информации
(4 выпуска)
Подписной индекс **79187**
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);
факс: 8 (495) 491-44-80.
E-mail: izdanie@ntckompas.ru

4 (152) ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС - научно-техническому прогрессу России

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1984 г.

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Спирягин В. В. Разработка и обоснование способа оценки остаточного ресурса конструкций теплообменного аппарата с учетом локальной деформации труб..... 3

Гарина И. О. Инструментарий цифровой трансформации процессов жизненного цикла машиностроительной продукции военного и специального назначения 9

Поделенок П. П., Жиленков А. А., Черный С. Г. Метод описания и управления формацией мультиагентной системы как инфинитезимально жесткой структурой информационной среды..... 17

Катюха Р. В., Евенко А. В. Метод прогнозирования процесса подготовки специалистов на основе применения марковских моделей.... 23

ИЗМЕРЕНИЯ. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Харитонов Д. В., Терехин А. В., Русин М. Ю., Анашкина А. А., Тычинская М. С., Амосов А. И., Маслова Е. В., Типикин М. Е. Разработка методики визуально-оптического контроля изделий из кварцевой керамики 29

Уланов Д. В. Концептуальный подход к оценке трудоемкости проектирования изделий военной техники..... 34

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. РАДИОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРОНИКА

Пителинский К. В., Федоров Н. В., Маковей С. О., Сигида М. П. О кластеризации бионических роботов по их функционалу методами машинного обучения..... 39

Плиплин А. А., Косарев Г. Г., Ключникова И. Д., Родионов А. В. Щелевая акустическая система обнаружения и сопровождения звукоконтактных объектов 50

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Баушев С. В., Брагин А. Ю. Введение в научную специальность "Организация производства (в промышленности)" по отрасли знаний "Технические науки. Методико-терминологический аспект" 54

Лихоманов К. А., Изергин Н. Д., Старков Р. В., Семенов В. С. Современные подходы к повышению огневой мощи бронетанковой техники ... 61

Вологина М. М. Проблема разработки критериев отнесения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ к работам военного, специального и двойного назначения 68

Главный редактор

И. А. Шеремет, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по научной работе

Заместители главного редактора

Ю. А. Чаплыгин, академик РАН, д-р техн. наук, проф., президент, заведующий кафедрой «Интегральная электроника и микросистемы», МИЭТ

С. А. Матвеев, канд. техн. наук, начальник Центра автоматических космических систем и комплексов ФГУП "ЦНИИмаш"

Ответственный секретарь — К. В. Трыкина,

начальник отдела научных и информационных изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Редакционная коллегия:

В. И. Борисов, академик РАН, д-р техн. наук, проф., научный руководитель — зам. генерального директора по научной работе ОАО «Концерн «Созвездие»; **Б. А. Григорьев**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, научный руководитель Центра исследований пластовых систем и технологического моделирования ООО «Газпром ВНИИГАЗ», зав. кафедрой «Исследование нефтегазовых пластовых систем» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **С. Ю. Желтов**, академик РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»; **И. А. Каляев**, академик РАН, д-р техн. наук, проф., директор НИИ многопроцессорных вычислительных систем ЮФУ (НИИ МВС ЮФУ); **В. М. Кашин**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор — генеральный конструктор ФГУП «Конструкторское бюро машиностроения»; **Ю. Н. Коптев**, д-р техн. наук, проф., председатель научно-технического совета Госкорпорации «Ростехнологии»; **Ю. И. Маевский**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор систем и средств РЭБ — зам. генерального директора по инновациям и научной работе ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии»; **Б. В. Обносков**, д-р техн. наук, проф., действительный член РАН, генеральный директор — генеральный конструктор ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»; **В. В. Рыжаков**, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, проф., профессор кафедры «Техническое управление качеством» Пензенского государственного технологического университета (Пенз. ГТУ); **Л. Г. Сидоренко**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАН, генеральный конструктор по специальной тематике ОАО «ЦКБ МТ «Рубин»; **П. А. Созинов**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей»; **Н. И. Турко**, д-р воен. наук, канд. техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, проф., первый вице-президент Академии военных наук

Учредитель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»

Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе электронной, без предварительного письменного разрешения редакции не допускаются.

УДК 621.565+620.179.1

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_3

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТРУБ

В. В. Спирыгин, канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Проведен анализ современных способов оценки и прогнозирования технического состояния кожухотрубных теплообменных аппаратов. Разработан способ, позволяющий осуществлять оценку остаточного ресурса теплообменных аппаратов с учетом влияния таких дефектов, как локальная деформация теплообменных труб трубного пучка.

Ключевые слова: техническое диагностирование, акустическая эмиссия, теплообменные аппараты, испарители, локальная деформация, остаточный ресурс.

Оценка технического состояния (ТС) объектов Ростехнадзора (ОГТН) в процессе их эксплуатации является неотъемлемой частью системы организации безопасной эксплуатации ОГТН в составе вооружения и военной техники [1]. По истечении назначенных сроков службы эксплуатация ОГТН прекращается и разрешается вновь только после проведения проверки ОГТН и установления новых показателей срока службы или назначенного ресурса (продление эксплуатации) [2]. Проверка ОГТН в целях продления срока их эксплуатации осуществляется в рамках проведения экспертизы технической безопасности (ЭТБ), заключающейся в фиксации фактических значений показателей, характеризующих ТС ОГТН [2], и научно-обоснованном прогнозировании ресурса по результатам технического диагностирования (ТД) [3]. Стоит отметить, что ЭТБ может проводиться и до истечения назначенных сроков службы в случаях:

- утраты (отсутствия) паспорта (формуляра) ОГТН;
- отсутствия в эксплуатационной документации данных о сроке службы (ресурсе) ОГТН, если фактический срок его службы (ресурса) невозможно установить;
- проведения работ, связанных с изменением конструкции и (или) заменой материала несущих элементов ОГТН, либо ремонтно-восстано-

вительных работ после аварии или инцидента, в результате которых ОГТН был поврежден;

- обнаружения в процессе технического освидетельствования ОГТН дефектов и эксплуатационных повреждений, выходящих за пределы норм, установленных разработчиком в инструкции по эксплуатации.

Анализ методов прогнозирования ресурса технических устройств [4] позволяет сделать вывод о том, что для оценки и прогнозирования ТС отдельно взятого объекта не существует универсального метода, способного полностью охватить всё изделие, включая его отдельные узлы и компоненты.

Так, например, для оценки и прогнозирования ТС кожухотрубных теплообменных аппаратов (КТА) (испарителей, конденсаторов, рекуператоров и т. д.) в известной научно-технической литературе отсутствует метод, позволяющий проводить одновременную оценку и прогноз ТС обечайки и трубного пучка.

В целом все существующие методы прогнозирования ТС КТА можно разделить на четыре основные группы:

- методы прогнозирования ТС, основанные на стандартизированных расчетах (расчетно-экспериментальные методы):
 - по циклам нагружения [5, 6];
 - по изменению параметров ТС объекта при эксплуатации [7];
 - по скорости развития коррозии [6];
 - по параметрам выявленного трещиновидного дефекта [8];
 - экспериментальное исследование образцов-свидетелей [8];

Спирыгин Валерий Викторович, преподаватель.

E-mail: V.V.Spiryagin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2021 г.

© Спирыгин В. В., 2021

- методы формализации статистической и экспертной информации (статистические):
 - экстраполяции [9];
 - по тенденции (тренду) изменения ТС объекта [10];
 - по изменению показателей качества и эффективности работы оборудования или его технологических параметров [10];
 - среднестатистическое прогнозирование [10];
 - экспертные оценки [11, 12];
- методы моделирования изменения ТС:
 - математическое моделирование [13];
 - имитационное моделирование;
 - численное моделирование методом конечных элементов с применением прикладных САЕ-программ [14, 15];
- комбинированные методы (расчетно-экспериментальные + методы моделирования; статистические + расчетно-экспериментальные; прочие сочетания).

Указанные методы позволяют оценить ресурс конструкций оборудования с учетом коррозии, эрозии, воздействия циклических нагрузок, изменения механических характеристик, ползучести материала, возможности растрескивания и хрупкого разрушения. Преимущества и недостатки каждого из методов в достаточно полной мере раскрыты в исследовании [4]. Общим их недостатком применительно к КТА является невозможность оценки влияния на ресурс КТА дефектов в виде локальной деформации (ЛД) конструкций (рис. 1). Наличие таких дефектов в трубах КТА в составе холодильных установок описывается в исследовании [16].



Рис. 1. Локальная деформация труб КТА

Целью данной работы является разработка способа, позволяющего осуществлять оценку остаточного ресурса КТА с учетом влияния та-

ких дефектов, как ЛД теплообменных труб трубного пучка.

Обоснование выбора метода прогнозирования ресурса КТА с учетом локальной деформации труб

В первом приближении для оценки остаточного ресурса КТА с учетом ЛД труб целесообразно определение параметров технического состояния по косвенным параметрам на основе регрессионных моделей [17].

Данные методические указания (МУ) распространяются на объекты с непрерывно изменяющимися параметрами технического состояния (ПТС) и позволяют решать задачи определения значений прямых ПТС по результатам измерения косвенных параметров при наличии связей, описываемых регрессионными моделями.

Под прямым ПТС понимают такой параметр ТС, который характеризует конкретное свойство объекта или его составной части. Косвенный ПТС — это параметр ТС, связанный с одним или несколькими прямыми ПТС детерминированной или стохастической зависимостью и изменяющийся в результате изменения прямых ПТС.

Основным прямым ПТС теплообменных аппаратов является герметичность, которая в соответствии с нормативным документом ПНАЭГ-7-010-89 характеризуется мощностью протечки среды через кольцевую щель вальцовочного соединения трубы с трубной решеткой (радиальный зазор) и в зависимости от класса точности и класса герметичности должна быть в пределах $N_y = 6,7 \cdot 10^{-11} \dots 6,7 \cdot 10^{-4}$ Вт ($\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$).

ГОСТ 55601-2013 "Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках" регламентирует требования к наибольшим допустимым значениям радиальных зазоров между трубой и отверстием трубной решетки. В зависимости от класса точности соединения максимальная величина радиального зазора достигает 0,86 мм. Однако анализ выведенных из эксплуатации КТА показал, что в ряде соединений труб с решетками эти значения могут достигать 1–1,5 мм (рис. 2), что является причиной наморозки льда в радиальном зазоре и образования дефекта в виде ЛД теплообменной трубы с образованием эллиптического прогиба, инициирующего подпитку влаги из межтрубного пространства. При следующей наморозке это ведет к еще большему увеличению радиального зазора, что при циклической наморозке и оттаивании воды в объеме ЛД приводит к разгерметизации [18].

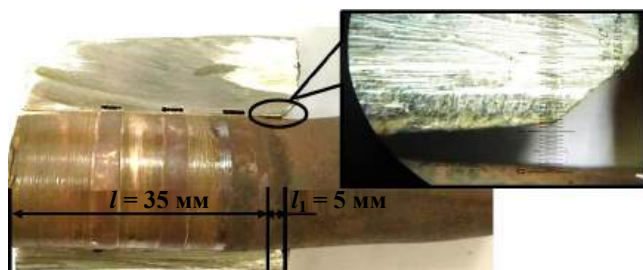


Рис. 2. Увеличенный радиальный зазор в вальцовочном соединении трубы с трубной решеткой [18]

Таким образом, изменение геометрических размеров ЛД теплообменной трубы является косвенным ПТС, непосредственно связанным с герметичностью КТА.

Разработка способа оценки остаточного ресурса конструкций КТА

Способ основан на синтезе численного моделирования процесса деформации теплообменных труб под действием внешней распределенной нагрузки [19], экспериментальных исследований влияния локальных деформаций конструкций КТА на значение критических нагрузок [20], расчета влияния локальных деформаций на количество циклов замораживания и размораживания рабочего продукта, приводящих к дальнейшему увеличению деформации конструкции [21], и натурных испытаний изделий с применением метода АЭ.

Выявление наиболее опасных параметров дефекта в виде локальной деформации и определение критического количества циклов замораживания-размораживания рабочего продукта,

приводящих к увеличению локальной деформации на всю длину вальцовочного соединения и разгерметизации КТА, осуществляются с применением программы для ЭВМ [21].

Оценка влияния дефектов в виде локальной деформации на величину критического давления, при котором происходит старт пластического течения, производится на основе численного моделирования процесса деформации бездефектной теплообменной трубы и труб с локальными деформациями различных размеров под действием внешней распределенной нагрузки [19]. Локально-деформированный участок моделировали в виде полуэллиптического прогиба, отвечающего наиболее опасному для данного КТА соотношению. Были построены 3 расчетных модели с параметрами глубины локальной деформации, равными 3, 7 и 11 мм, а также расчетная модель, не содержащая дефект, которая являлась контрольной. Пример моделируемой теплообменной трубы с дефектом глубиной 11 мм, а также распределение эквивалентных пластических напряжений в момент начала и окончания потери устойчивости представлены на рис. 3.

По результатам моделирования в первом приближении были определены расчетные значения $P_{\text{крит}}$ для труб с различными размерами локальной деформации. Потеря устойчивости бездефектной трубы с учетом стеснения трубной решеткой произошла при достижении давления в межтрубном пространстве 9,5 МПа. Старт пластического течения для трубы с глубиной локально деформированного участка 11 мм произошел при давлении 3 МПа [19].

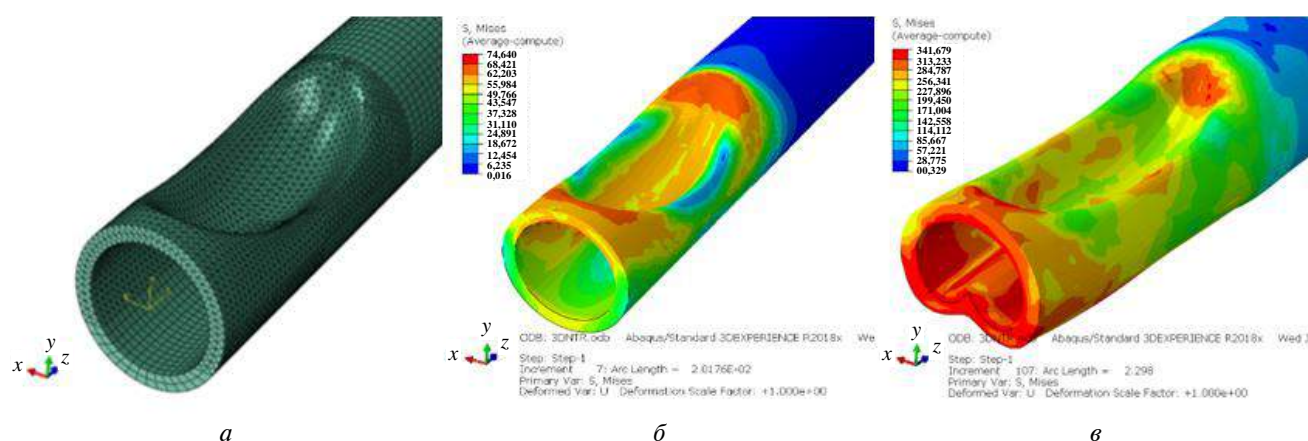


Рис. 3. Численное моделирование процесса деформации теплообменных труб под действием внешней распределенной нагрузки:

- а — конечно-элементная модель трубы с дефектом в виде локальной деформации глубиной 11 мм;
- б — распределение эквивалентных пластических напряжений в момент начала потери устойчивости;
- в — распределение эквивалентных пластических напряжений при окончании потери устойчивости

Для проверки адекватности результатов численного моделирования, а также определения диагностических признаков АЭ, позволяющих достоверно выявлять развитие дефекта в виде локальной деформации, был проведён ряд натурных испытаний [20]. Испытания проводили на базе акустико-диагностической установки, содержащей в качестве сменных исследуемых элементов трубопроводы, выполненные из меди марки МЗр, с геометрическими параметрами, соответствующими реальному КТА, и нанесёнными дефектами в виде локальной деформации в месте развальцовки. В целях контроля деформации трубопровода было предусмотрено использование тензометрического датчика перемещения зажимного типа для регистрации сигналов АЭ — акустико-эмиссионной аппаратуры A-Line32D.

В результате проведенной серии испытаний для сменных трубопроводов с различными размерами дефектов были определены диагностические параметры АЭ, характеризующие ростом средней амплитуды u_m и скорости счета АЭ.

Полученные данные являются основой для построения зависимости критического давления, требуемого для деформации теплообменной трубы, от геометрического размера ЛД (рис. 4).

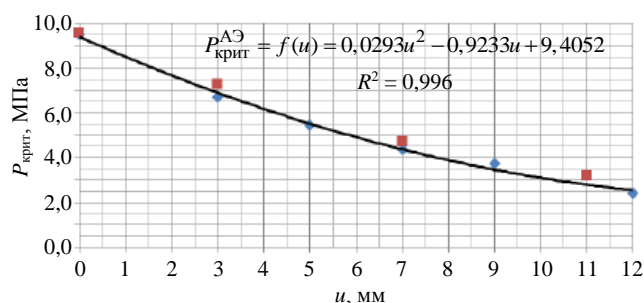


Рис. 4. Пример зависимости изменения критического давления от глубины начального участка локальной деформации трубы:

ромбы — эксперимент; квадраты — численное моделирование

Графическая интерпретация применения способа, описанного в [22], представлена на рис. 5 в виде сводного графика, исходными данными для которого являются зависимость изменения критического давления от глубины начального прогиба трубы (рис. 4) и результаты расчета программы моделирования процесса потери работоспособности металлоконструкций испарителя [20].

Способ реализуется следующим образом. При выявлении по результатам акустико-эмиссионного контроля пластического деформирования трубок оператор фиксирует критическую нагруз-

ку $P_{крит}$, по значению которой делается вывод о геометрических параметрах дефекта (действие 1 на рис. 5). Действие 2 на рис. 5 является связующим этапом, позволяющим осуществить переход от зависимости I к зависимости II.

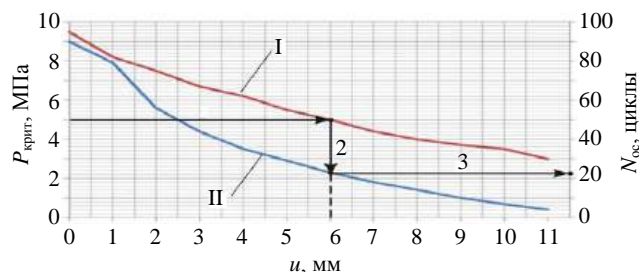


Рис. 5. Пример сводного графика для оценки остаточного ресурса КТА по степени локальной деформации теплообменных труб:

I — зависимость изменения критического давления от глубины начального участка локальной деформации трубы; II — зависимость остаточного ресурса от параметров дефекта, определенная с использованием программы для ЭВМ

Если по результатам испытаний не произошло отказа КТА вследствие разгерметизации или иного недопустимого дефекта, а выявлено только пластическое деформирование конструкций в зоне локальной деформации, то определяют остаточный ресурс — количество циклов замораживания и размораживания рабочего продукта, которое в ходе дальнейшей эксплуатации приведет к отказу КТА (линия 3 рис. 5). Если в ходе испытаний не выявлены дефекты в виде локальной деформации, то остаточный ресурс определяется по другим известным методикам в соответствии с требованиями нормативно-технических документов для КТА.

Заключение

В результате проведенных исследований разработан и обоснован способ оценки остаточного ресурса конструкций теплообменного аппарата, отличительной особенностью которого является то, что остаточный ресурс при выявлении пластического деформирования теплообменных труб определяют по расчету количества замораживания и размораживания теплоносителя, приводящего к отказу испарителя вследствие развития дефектов в виде локальной деформации.

Направление дальнейших исследований связано с экспериментальной отработкой предложенного способа на КТА различных типоразмеров и модификаций в целях создания обучающей выборки и выбора моделей переноса информации в соответствии с РД 50-491-84.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 30.10.2015 № 662 "Об утверждении Инструкции по обеспечению в вооруженных силах Российской Федерации безопасной эксплуатации подъемных сооружений и оборудования, работающего под давлением, в составе вооружения и военной техники".
2. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 21.12.2017 № 792 "Об утверждении Обязательных требований в области технического регулирования к оборонной продукции (работам, услугам), являющейся подъемными сооружениями и оборудованием, работающим под давлением, в составе вооружения и военной техники, поставляемой для Вооруженных Сил Российской Федерации по государственному оборонному заказу, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения указанной продукции".
3. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 2009. — 9 с.
4. Черепанов А. П. Анализ преимуществ и недостатков современных методов прогнозирования ресурса технических устройств // Вестник АНГТУ. 2019. № 13. С. 90—101.
5. РД 03-421-01 Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. Серия 03. — М.: Государственное унитарное предприятие "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России", 2002. — 136 с.
6. РД 09-244-98 Инструкция по проведению диагностирования технического состояния сосудов, трубопроводов и компрессоров промышленных аммиачных холодильных установок. Серия 09. — М.: ЗАО "Научно-технический центр Промышленная безопасность", 2010. — 91 с.
7. РД 260.004-91 Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации.
8. РД 26.260.12-99 Продление срока службы резервуаров для жидкой двуокиси углерода. Методические указания. — М.: ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры", 2008. — 33 с.
9. Равин А. А., Хруцкий О. В. Инженерные методы прогнозирования остаточного ресурса оборудования // Вестник АГТУ. Сер. "Морская техника и технология". 2018. № 1. С. 33—47.
10. Иванов В. А., Семенов А. С., Гимадутинов А. Р. Основные принципы технического диагностирования и определения остаточного ресурса оборудования нефтегазовых объектов: учеб. пособие. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. — 50 с.
11. Ящура А. С. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник. — М.: НЦ ЭНАС, 2017. — 504 с.
12. Кунько А. Е. Методика прогнозирования остаточного ресурса технических объектов на основе метода формализации экспертной информации // Молодой учёный. 2011. Т. 1. № 11(34). С. 56—59.
13. Гриб В. В., Жуков Р. В., Петрова И. М. Моделирование изменения технического состояния сложных механических систем // Машиностроение и инженерное образование. 2012. № 4. С. 28—32.
14. Мурзаханов Г. Х., Марницын А. С. Имитационное моделирование остаточного ресурса трубопроводов с дефектами // Вестник Российской академии естественных наук. 2016. С. 53—58.
15. Шелофаст В., Стайнова Е., Розинский С. Программный комплекс APM WinMachine — инструмент для проектирования современных машин, механизмов и конструкций // CADmaster. 2005. № 2. С. 45—49.
16. Спирагин В. В. Анализ технического состояния металлоконструкций систем охлаждения ракетной техники, способов оценки и продления сроков их службы. Сб. мат. VII Международной конференции "Деформация и разрушение материалов и наноматериалов". — М.: ИМЕТ РАН. 2017. С. 742—744.
17. РД 50-491-84 Методические указания. Техническая диагностика. Определение параметров технического состояния объектов диагностирования по косвенным параметрам на основе регрессионных моделей. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 38 с.
18. Спирагин В. В., Чмыхало А. И., Медеяев И. А. Модель потери работоспособности металлоконструкций испарителя холодильной машины // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2019. Т. 20. № 11. С. 483—492.
19. Спирагин В. В., Медеяев И. А., Кобзев И. В., Кончаков Н. И. Численное моделирование процесса деформации теплообменных труб под действием внешней распределенной нагрузки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2019. Т. 20. № 5. С. 231—234.
20. Спирагин В. В., Медеяев И. А., Чмыхало А. И. Экспериментальная оценка влияния несовершенства геометрической формы теплообменных труб на величину критического давления // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2019. № 12. С. 531—536.

21. **Спирягин В. В.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616425, РФ. Программа моделирования процесса потери работоспособности испарителя холодильной машины. Заявитель и правообладатель Спирягин В. В. 25.04.2019. Оpubл. 25.05.2019.

22. **Спирягин В. В., Челноков А. В., Чмыхало А. И., Панкин Д. А.** Способ оценки остаточного ресурса конструкций теплообменного аппарата. Патент 2722860 РФ, МПК G01N 29/14, G01N 29/04, G01N 3/32, G01N 25/72. Заявитель и патентообладатель ВА РВСН. № 2019116219. Заявл. 27.05.2019. Оpubл. 04.06.2020. Бюл. № 16. — 9 с.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE TECHNICAL DIAGNOSIS OF METAL STRUCTURES OF EVAPORATORS OF REFRIGERATION MACHINES OF REFRIGERATION SYSTEMS OF MISSILE SYSTEMS USING THE ACOUSTIC EMISSION METHOD

V. V. Spiryagin

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

A technique is proposed for the technical diagnosis of the metal structures of evaporators of refrigerators using the acoustic emission method. A distinctive feature of the technique is the use of a new algorithm for technical diagnostics, which allows to increase the information content of the control, due to the possibility of interpretation of the recorded continuous acoustic emission.

Keywords: technical diagnostics, acoustic emission, heat exchangers, evaporators, local deformation, residual life.

Bibliography — 22 references.

Received September 23, 2021

УДК 658.51

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_9

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ВОЕННОГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И. О. Гарина

ФГБОУВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

Рассмотрены существующие методологические проблемы управления жизненным циклом машиностроительной продукции военного и специального назначения. Предложен подход к цифровой трансформации процессов управления жизненным циклом с помощью следующих инструментов: блокчейн-онтологии, смарт-контрактов и цифровых двойников. Оценена экономическая эффективность внедрения предложенных инструментов.

Ключевые слова: машиностроение, продукция специального назначения, управление жизненным циклом, контракты жизненного цикла, цифровой двойник, блокчейн-онтология, смарт-контракты.

Актуальность темы настоящей работы обусловлена необходимостью цифровой трансформации процессов жизненного цикла (ЖЦ) машиностроительной продукции военного и специального назначения (МПВСН), составляющей доминирующий сегмент вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). МПВСН представляет собой изделия узкой направленности применения, обладающие определенными тактико-техническими характеристиками (ТТХ) для выполнения боевых задач в военной сфере или для выполнения конкретных видов работ в специфических условиях (природно-экологических, экономико-логистических) в гражданской сфере. Специфика организации процессов ЖЦ МПВСН определяется узкой специализацией, единственным заказчиком, единичным или мелкосерийным объемом выпуска данного класса промышленной продукции. Высокий уровень наукоемкости и капиталоемкости создания перспективных образцов МПВСН обуславливает существенный потенциал повышения эффективности за счет цифровой трансформации процессов ЖЦ.

В передовых странах приняты и активно реализуются концепции и стратегии цифровой трансформации отраслей промышленности. Лидерами цифровой трансформации и поставщиками информационно-технологических решений

являются крупные военно-промышленные корпорации и оборонные ведомства. Примером цифровой трансформации является технология непрерывной информационной поддержки поставок и ЖЦ изделия (CALS-технология), которая позволила развивать использование контрактов жизненного цикла (КЖЦ) в оборонной промышленности США, что снизило затраты на закупку на 30 %, а сроки некоторых проектов были уменьшены в 9 раз. По оценкам Минобороны США выгода от использования КЖЦ достигает порядка 20 млрд долл. в год. [1]. Еще одним примером является классификатор НАТО, лежащий в основе практически всех MRP/ERP/CALS-систем. Система кодификации НАТО — это единая система идентификации, классификации и нумерации предметов снабжения стран-участниц [2]. Она предназначена для достижения максимальной эффективности материально-технического обеспечения и облегчения управления данными о нем. Система согласована всеми сторонами-участниками для использования при идентификации оборудования и материалов. В соответствии с ней за последние 20 лет оцифровано большое количество материалов, используемых для производства военной техники и снабжения армии, а со временем и большое количество материалов для техники гражданского назначения.

В отечественной практике активно реализуются программы импортозамещения критически важных элементов программного обеспечения, комплексов технических средств, используемых для управления жизненным циклом (УЖЦ) ВВСТ. Несмотря на существенную научно-

Гарина Ирина Олеговна, ассистент кафедры ИБМ-6.
E-mail: ir.garina@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15 июля 2021 г.

© Гарина И. О., 2021

методическую проработанность этих вопросов, остается неразрешенной проблема информационных разрывов между стадиями ЖЦ МПВСН. Особенно можно выделить:

- многократные информационные разрывы на протяжении ЖЦ;
- недостаточную интеграцию между этапами ЖЦ;
- отсутствие комплексного управления данными;
- изолированное управление инженерными изменениями;
- отсутствие охвата всего ЖЦ изделия;
- низкое качество безопасности данных и защиты интеллектуальной собственности;
- отсутствие управления дефектами;
- отсутствие связи между ЖЦ продукта и управлением знаниями.

Целью настоящей статьи является разработка инструментария, позволяющего решить данную проблему за счет использования комплекса технологических решений: онтологии на основе распределенного реестра, смарт-контрактов и цифровых двойников.

Проведение данных исследований является особенно востребованным в условиях реализации арктических программ РФ, в рамках которых предъявляются особые требования к отказоустойчивости техники и ее обслуживанию в сложных природно-климатических и труднодоступных географических локациях.

Специфика управления процессами ЖЦ МПВСН

Согласно ГОСТ 56136-2014 ЖЦ изделия — это совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации [3].

Объектами ЖЦ являются изделия и их составные части, которые характеризуются следующими ТТХ: характеристиками основных функций финального изделия, определяющими возможность его применения в соответствии с назначением, и эксплуатационно-техническими характеристиками; характеристиками надежности, отказоустойчивости, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности. Субъектами ЖЦ являются головной исполнитель, дирекция, заказчик, поставщик, ведущий научно-исследовательский институт по направлению, эксплуатационная организация. Стандартными технологиями УЖЦ являются

технологии управления требованиями и конфигурациями изделия, управления эксплуатационно-техническими характеристиками, интегрированной логистической поддержки, интегрированные технологии поддержки МТО, информационные технологии поддержки ЖЦ. Стоимость ЖЦ (СЖЦ) как процесса экономического анализа суммарных затрат трудовых, материальных и финансовых ресурсов в ходе ЖЦ оценивается с помощью модели СЖЦ — математическим описанием связей между СЖЦ и статьями составляющих ее затрат.

В условиях рынка производственная программа предприятий формируется на основе исследований рынка, как правило в двух направлениях: поиск соответствующего сегмента рынка и оценка возможности выпуска продукции. Номенклатура и ассортимент продукции являются основными показателями производственной программы предприятия. Для продукции специального назначения такой подход формирования производственного плана неприменим. Заказчиком техники специального назначения могут выступать государство, государственная корпорация, Министерство промышленности и торговли или Министерство обороны. Единственный заказчик передает технические и функциональные требования производителю.

Из выделенных характеристик можно сформулировать основные ограничения для производства:

- невозможно переиспользовать изделие для иных целей;
- невозможно учесть эффект масштаба в связи со строго ограниченной емкостью рынка, иными словами, издержки производства не могут быть снижены за счет массовости производства;
- технические и функциональные требования определяются не рынком, а заказчиком.

Решением экономической части задачи приобретения и использования такой техники является система контрактации с подробно прописанными условиями и ограничениями, а именно КЖЦ, позволяющие разделить риски и повысить качество изделия. Решением технической части является сквозная информационная поддержка ЖЦ наукоемких изделий, начиная с этапов проектирования и производства и заканчивая этапами эксплуатации и технической поддержки.

Согласно ч. 16 ст. 34 Закона № 44-ФЗ "О контрактной системе в сфере закупок работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" под КЖЦ подразумевается заключение долгосрочного соглашения между государством и частным исполнителем, в рамках

которого второй берёт на себя обязательства по закупке или проектированию, строительству, ремонту, эксплуатации или утилизации объекта закупки [4]. Основной характеристикой КЖЦ является создание изделий или услуг и их предоставление в пользование в соответствии с заранее согласованными требованиями.

В результате проведенного автором анализа КЖЦ [5] выявлены системные методологические проблемы и противоречия, возникающие при переходе изделия от производственной стадии к эксплуатационной, вызванные информационным разрывом, а также проблема увеличения транзакций.

Концепция УЖЦ для поддержки процессов сбора, представления, извлечения и повторного использования как инженерных, так и прочих знаний в течение всего ЖЦ продукта предназначена для упрощения управления знаниями в рамках предприятия или предприятий [6]. Таким образом, УЖЦ суммирует все действия, связанные с проектированием, производством, использованием и поддержкой продукции, и включает в себя процессы от первых идей до утилизации [7]. Главной задачей УЖЦ является обмен информацией и знаниями между всеми участниками в течение всего ЖЦ изделия [8].

В [5] авторы рассматривают основные проблемы УЖЦ продукции специального назначения.

Автором среди широкого спектра организационно-технических и экономических задач УЖЦ МПВСН выделены вопросы организации предиктивного обслуживания техники и повышения отказоустойчивости и снижения транзакционных издержек, поскольку они имеют первостепенную актуальность для перспективных образцов МПВСН, создаваемых в рамках арктических программ, оказывая существенное влияние на СЖЦ изделия.

Системообразующие элементы инструментария цифровой трансформации процессов ЖЦ МПВСН

Выполненный анализ существующих научных работ в данной области исследования показал, что для повышения эффективности всех этапов ЖЦ изделия и качества информационных потоков между стадиями ЖЦ, снижения затрат и внедрения предиктивного обслуживания требуется модернизация используемого научно-методического аппарата. Для этих целей предлагается решить ряд задач. Первой выявленной задачей становится формирование единого пространства справочников материалов и комплек-

тующих, на основе которого все участники ЖЦ будут строить свои процессы и основывать модели. Второй задачей является решение проблемы безопасного, быстрого и надежного обмена данными внутри и за пределами производства. Традиционные базы данных разрабатывали не для такого рода систем, поэтому их применение в сетях, где участвует множество сторон, рискованно. В поисках решения производители могут обратиться к технологии распределенного реестра — блокчейна, а затем на основе построенной инфраструктуры перейти к использованию смарт-контрактов на протяжении ЖЦ. Следующей задачей в рамках улучшения УЖЦ является внедрение технологии "цифрового двойника", что позволит иметь доступ к цифровой копии каждого экземпляра продукции в любой момент времени.

Совместное использование предлагаемых инструментов позволит добиться сквозного прослеживаемого процесса на всех этапах ЖЦ. В основу подхода положена технология блокчейн-онтологии, внедряемая в процессы сквозного управления ЖЦ, использование которой становится возможным за счет разработки оптимальной онтологии и внедрения блокчейна. Этим обеспечиваются лучшее отслеживание, прозрачность и подтверждаемость всей документации и заключаемых контрактов. Использование смарт-контрактов позволяет снизить транзакционные издержки и повысить надежность системы, а также уменьшить количество рутинной работы. Совокупное использование указанных инструментов дает возможность объединить их в рамках единого цифрового двойника разрабатываемой продукции.

Инструмент построения единого облачного справочника на основе технологии блокчейн-онтологии позволяет обеспечить защиту истории производства и обслуживания продукции, цифровую идентификацию продукции, снижая вероятность подделки и сохраняя право собственности, и стимулирование ответственного потребления, обеспечивая прослеживаемость в течение всего срока службы продукта. Данный инструмент позволяет сократить расходы за счет снижения дополнительного контроля за качеством товаров из-за прозрачности технологии блокчейн-онтологии в реальном времени, а также гарантирует получение конкурентных преимуществ.

Инструмент автоматизации исполнения контрактов позволяет снизить транзакционные издержки КЖЦ при выборе правильных стимулов для сторон, участвующих в производстве. Отличительной особенностью данного инструмента

являются автоматические процедуры обеспечения исполнения контрактов, которые позволяют повысить доверительность отношений между всеми участниками производства, снижая тем самым затраты на выплату штрафов и пени в рамках КЖЦ.

Инструмент управления конфигурацией с помощью цифрового двойника включает в себя создание цифровой копии выпускаемого продукта и охватывает весь его ЖЦ от проектирования до утилизации. Инструмент обеспечивает прослеживаемость всех данных о состоянии продукта, а также доступ к его документации и позволяет отслеживать параметры продукта на протяжении всего ЖЦ. Важной задачей, решаемой инструментом, является создание механизма предиктивного обслуживания на основе моделирования поведения реального объекта, который позволяет снизить затраты на ремонт машин.

Совокупное применение предложенных инструментов обеспечит возможность дальнейшего развития и применения рассмотренных моделей и инструментов в рамках КЖЦ. Исходными данными для его разработки послужили выявленные проблемы производства и обслуживания специальной машиностроительной техники в КЖЦ, а также проведенный анализ данных литературы, что обеспечивает обоснованность и достоверность полученных результатов.

Внедрение рассмотренных инструментов позволит снизить СЖЦ как за счет уменьшения стоимости владения, снижая скрытые расходы, так и за счет уменьшения стоимости ремонта продукции [9].

Обоснование эффективности применения предложенных инструментов

Важным критерием для оценки эффективности КЖЦ является оценка СЖЦ. Основная цель оценки СЖЦ — оптимизировать затраты на ЖЦ активов без потери в их производительности. В основном для оценки необходимо ориентироваться на затраты или прибыль, но также широко используемым критерием является денежный поток: сумма прибыли после налогообложения и величина амортизации. В зависимости от того, учитывается ли фактор времени, методы делятся на статические и динамические.

Расчет стоимости жизненного цикла (LCC) — это особый вид бухгалтерского учета, который используется в англосаксонских странах как термтехнология Petrik [10]. Использование этого вида учета подходит для управления, контроля и оценки инвестиционных проектов. Концепция основана на возможности оценить все затраты и

доходы конкретного инвестиционного проекта, включая все его производственные и временные потребности. Задача LCC — учитывать все фактические затраты и доходы, связанные с каким-либо активом, в течение его экономического ЖЦ при минимально возможной общей стоимости. LCC позволяет оценить объем и характер затрат за весь период экономического ЖЦ для анализируемого актива или инвестиций.

LCC-анализ основан на оценке всех возможных затрат. В затраты обычно входит предложенная сумма (закупочная цена/инвестиции), а также техническое обслуживание и другие соответствующие затраты. Предполагается, что активы приобретают на фиксированный период времени для использования в течение относительно длительного периода. Нормальная практика — использовать актив в несколько раз дольше, чем его плановый срок службы. Эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание напрямую зависят от возраста продукции.

Метод LCC во взаимосвязи с оценкой инвестиций обеспечивает интеграцию общей концепции управленческого учета. Этот метод, по мнению многих исследователей [11—14], является очень амбициозным измерением, что полезно для эффективного управления, мониторинга и оценки минимизации общих затрат [15].

Для оценки СЖЦ используют модель, основанную на методе Пеурифоа и Шекснайдера [16] и инженерной экономике. Применяют следующую формулу для определения стоимости продукции:

$$LCC = OpC + OwC, \quad (1)$$

где OpC — эксплуатационные расходы;

OwC — стоимость владения.

$$OpC = R \& MC + FC, \quad (2)$$

$R \& MC$ — затраты на ремонт и обслуживание;

FC — затраты на топливо.

Стоимость владения определяет уравнение

$$OwC = P (TR + PN) + IS + TX, \quad (3)$$

где P — коэффициент амортизации;

TR — транзакционные издержки;

PN — различные штрафы или пени;

IS — страховка;

TX — налоги,

а эксплуатационные расходы — уравнения

$$R \& MC = RF \frac{(IC - P \cdot IC)}{AY} + TO, \quad (4)$$

где RF — коэффициент ремонта, зависящий от типа машинной техники;
 IC — начальная цена;
 AY — планируемый срок службы;
 TO — стоимость технического обслуживания;

$$FC = TF \cdot EF \cdot CF \cdot hp \cdot FP, \quad (5)$$

где TF — коэффициент эффективности, оценивающий количество продуктивности в час работы;
 EF — процент используемых лошадиных сил;
 CF — количество потребляемого топлива в час;
 hp — количество лошадиных сил;
 FP — цена топлива.

Анализ эффективности от внедрения инструментов проведен на примере КЖЦ "Камаз-Арктика".

Интеграция рассматриваемых инструментов в процессы производства МПВСН помимо качественных и процессных улучшений позволяет значительно снизить СЖЦ изделия. Блокчейн-онтология и смарт-контракты позволяют снизить транзакционные издержки благодаря автоматизации процессов работы с договорами и подрядчиками, снижению количества ошибок, возникающих из-за недостоверных данных как при производстве, так и на последующих этапах ЖЦ изделия, а также рационализации документации. Дополнительно внедрение блокчейн-онтологии и построение на основе нее смарт-контрактов позволит сократить расходы на фонд оплаты труда юридических и финансовых департаментов, сопровождающих закупки, сделки, контракты и документооборот.

Автоматизация исполнения контрактов позволит также упростить процедуры сертификации продукции. Например, в 2019 г. Камаз задержал поставки электробусов в Москву из-за проблем с сертификацией у поставщиков [17]. Согласно ФЗ-44 [18] за неисполнение контрактов компания платит пени за просрочки, а согласно договору между Камазом и Мосгортрансом штрафы могут достигать до 2 млн. руб. Использование смарт-контрактов позволит снизить издержки, возникающие из-за задержек поставок комплектующих для производства. В общем случае согласно ФЗ-44 штрафы могут достигать до 10 % от стоимости продукции. Рассматривая общую модель оценки, примем среднюю величину штрафов равной 2 %.

Тогда с учетом эффектов от внедрения смарт-контрактов для повышения надежности взаимо-

отношений между поставщиками и производителем и снижением штрафов и уменьшением транзакционных издержек

$$SV = k TR + IS + TX. \quad (6)$$

Внедрение предиктивного обслуживания позволит повысить надежность производимой продукции. Рассмотрим эффективность внедрения на примере обслуживания системы охлаждения.

В общем виде это можно выразить как

$$RC = RCS + rc, \quad (7)$$

где rc — стоимость ремонта без учета ремонта системы охлаждения;

RCS — стоимость ремонта системы охлаждения.

Исследованы случаи возникновения следующих неисправностей: поломка радиатора; течь жидкостного насоса; износ гидромфты; неисправности включателя гидромфты; выход из строя термостата; износ ремня жидкостного насоса. Собрана статистика по количеству поломок в парке размером 400 автомобилей Камаз, которая приведена в табл. 1.

Таблица 1

Статистика возникновения неисправностей системы охлаждения за месяц

Наименование узла	Число случаев возникновения неисправностей
Радиатор	7
Жидкостной насос	41
Гидромфта	16
Включатель гидромфты	18
Термостат	18
Ремень привода жидкостного насоса	29

Оценим вероятности возникновения неисправностей. Для оценки математического ожидания рассмотрим доверительный интервал $P_1 \leq P \leq P_2$:

$$P_1 = \frac{n}{t^2 + n} \left[\omega + \frac{t^2}{2n} - t \sqrt{\frac{\omega(1-\omega)}{n} + \left(\frac{t}{2n}\right)^2} \right]; \quad (8)$$

$$P_2 = \frac{n}{t^2 + n} \left[\omega + \frac{t^2}{2n} + t \sqrt{\frac{\omega(1-\omega)}{n} + \left(\frac{t}{2n}\right)^2} \right], \quad (9)$$

где P_1, P_2 — верхняя и нижняя граница интервалов;

n — общее количество отказов.

Уровень значимости $\gamma = 0,95$, $t = 1,65$.

Опытная вероятность события описывается формулой

$$\omega = \frac{m}{n}, \quad (10)$$

где m — количество возникших неисправностей за 30 дней.

Результаты расчетов доверительных интервалов для каждого из узлов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Доверительные интервалы возникновения неисправностей узлов системы охлаждения

Наименование узла	P_1	P	P_2
Радиатор	0,031	0,054	0,095
Жидкостной насос	0,253	0,31	0,384
Гидромуфта	0,082	0,12	0,174
Включатель гидромуфты	0,098	0,14	0,196
Термостат	0,096	0,138	0,194
Ремень привода жидкостного насоса	0,170	0,223	0,287

Для определения наиболее вероятного числа одновременно возникших неисправностей используем производящую функцию

$$\varphi_n = (P_1z + q_1)(P_2z + q_2) \times \dots \times (P_nz + q_n), \quad (11)$$

где q_1, \dots, q_n — вероятность невозникновения события.

Подставим полученные значения результатов:

$$\varphi_n = 0,000008654z^6 + 0,000371z^5 + 0,006128z^4 + 0,04904z^3 + 0,2025z^2 + 0,414z^1 + 0,33z^0. \quad (12)$$

Следовательно, вероятность невозникновения неисправностей равна 33 %, а безотказной работы в течение месяца — 80 %, так как 20 % неисправностей приходится на ключевые узлы.

Внедрение предиктивного обслуживания с помощью цифровых двойников позволит свести количество отказов ключевых элементов системы к нулю, оставив только необходимость технического обслуживания и ремонта вспомогательных систем. Таким образом, вероятности отказов радиатора, гидромуфты и термостата будут равны нулю. Проведем расчет производящей функции с учетом отсутствия поломок ключевых элементов ($q_n = 1q_n = 1$):

$$\varphi_n = 0,0096782z^3 + 0,1147154z^2 + 0,4145346z^1 + 0,4610718z^0. \quad (13)$$

Получим, что вероятность нахождения системы в абсолютно рабочем состоянии равна 46 %, а нахождения в безотказном — 100 %.

RCS с использованием предиктивного обслуживания снижается на 10 %. Экстраполируя данные результаты на общие затраты на ремонт и обслуживание, можно сделать вывод, что стоимость ремонта техники уменьшится не менее чем на 10 %.

Оценим LCC партии машин до и после внедрения рассматриваемых инструментов:

$$LCC = RF \frac{(IC - P \cdot IC)}{AY} + TO + FC + P \left(\frac{TR}{n} + \frac{PN}{n} \right) + TX + IS; \quad (14)$$

$$LCC = 0,9 \left[RF \frac{(IC - P \cdot IC)}{AY} \right] + TO + FC + P \left(\frac{0,5 TR}{n} \right) + TX + IS. \quad (15)$$

Оценим денежную выгоду на основе анализа снижения СЖЦ при закупке $n = 10$ "Камаз-Арктика". Заложим срок службы машины $AY = 15$. Стоимость "Камаз-Арктика" 12 млн руб. [19]. Для специальной техники в арктических условиях примем коэффициент ремонта $RF = 37$ % для первых 5 лет использования, 45 % — для вторых, 60 % — для последних [20]. Средние затраты на ТО Камазов в год — 200 тыс. руб. [21]. Расход дизельного топлива — 33 л/100 км [22], цена которого 48,39 руб. Заложим пробег 60 тыс. км/г. Транзакционные издержки Камазов могут достигать 30 млн руб./г. [23]. Штрафы примем равными $PN = 0,02 ICPN$. Стоимость страховки Камаза оценим в 22 тыс. руб. [24], налог — 34 тыс. руб. [25]. Коэффициент амортизации $P = \frac{1 + AY - CY}{AY}$ [26].

Полученные результаты приведены в табл. 3.

Согласно полученным результатам СЖЦ одной машины снижается с 56 млн руб. до 43,6 млн руб. (на 22 %). Если оценивать суммарную выгоду для КЖЦ, то она составит более 120 млн руб. Можно отметить, что наибольшая эффективность от внедрения рассматриваемых инструментов достигается в первые годы использования за счет значительного снижения скрытых затрат ЖЦ, а к концу срока эксплуатации предиктивное обслуживание позволяет снижать стоимость ремонта техники.

Таблица 3

Экономическая эффективность внедряемых инструментов

Год	Влияние внедряемых инструментов на стоимость ремонта	Эффективность снижения ЛСС в течение срока эксплуатации	Эффективность внедряемых инструментов в отношении стоимости владения
1	0,63355889	0,36644111	0,49480519
2	0,64185227	0,35814773	0,49416342
3	0,6509405	0,3490595	0,49342499
4	0,66094359	0,33905641	0,49256626
5	0,672007	0,327993	0,49155524
6	0,68571553	0,31428447	0,49034749
7	0,69974028	0,30025972	0,48887938
8	0,71547356	0,28452644	0,48705657
9	0,73324782	0,26675218	0,48473282
10	0,75348777	0,24651223	0,48166877
11	0,78074823	0,21925177	0,47744361
12	0,80744091	0,19255909	0,47124304
13	0,83839693	0,16160307	0,46125908
14	0,87472635	0,12527365	0,44250871
15	0,91796122	0,08203878	0,39440994

Заключение

Внедрение рассмотренных инструментов позволит решить существующие проблемы в процессах производства и УЖЦ МПВСН. Использование блокчейн-онтологии и смарт-контрактов позволяет снизить количество разрывов между стадиями ЖЦ, обеспечить комплексное управление данными и инженерными изменениями, повысить безопасность данных и защищенность интеллектуальной собственности, а также повысить связность между этапами ЖЦ за счет соблюдения принципа SSOT (Single Source of Truth). Цифровые двойники также обеспечивают улучшение связи между этапами ЖЦ и

уменьшение информационных разрывов. Кроме того, их использование позволяет внедрить механизмы предиктивного обслуживания. Помимо обеспечения качественного улучшения процессов УЖЦ внедрение рассмотренных инструментов оказывает существенное влияние на снижение СЖЦ продукции в рамках КЖЦ. Их комплексное использование позволяет получать выгоду на протяжении всего срока КЖЦ. Внедрение рассмотренных инструментов позволит качественно реализовать стратегию цифровой трансформации производства и добиться комплексного улучшения процессов производства и производимого изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Володина П. М., Фролов И. Э.** Российская специфика применения контракта жизненного цикла в целях выполнения государственного оборонного заказа // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2018. № 16.
2. **Kort J. R.** The North American Industry Classification System // Survey of Current Business. 2001. V. 81. P. 7.
3. ГОСТ Р. 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения, 2015.
4. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102164547> (дата обращения: 09.04.2020).
5. **Дроговоз П. А., Гарина И. О.** Анализ транзакционных издержек в контрактах жизненного цикла в машиностроительной отрасли // Экономика и предпринимательство. 2020. № 9(122). С. 1105—1111. DOI 10.34925/EIP.2020.122.9.216.
6. **Ameri F., Dutta D.** Product lifecycle management: closing the knowledge loops // Computer-Aided Design and Applications. 2005. № 5. P. 577—590. DOI 10.1080/1 6864360.2005.10738322.
7. **Stark J.** Product lifecycle management: 21st century paradigm for product realisation. Decision engineering. / 2nd ed. — London, New York: Springer, 2011.
8. **Шиболденков А. В., Панова Д. А.** Анализ данных производственного процесса в реальном времени: инновационная аналитическая платформа с использованием технологии искусственного интеллекта ком-

пании Sight Machine Inc. // Креативная экономика. 2020. Т. 14. № 12. DOI: 10.18334/ce.14.12.111489. URL: <https://creativeconomy.ru/lib/111489>.

9. Гасюк Д. П., Дроговоз П. А., Дубовский В. А. Функциональное моделирование процессов жизненного цикла вооружения и военной техники // Вестник Академии военных наук. 2020. № 3(72). С. 105—112.

10. Petrik T. Ekonomický a finanční řízení firmy: manažerský účetnictví v praxi — 2., vřazně roz. a aktualiz. Vyd. — Praha: Grada, 2009. — 735 s. ISBN 978-80-247-3024-0.

11. Eschenbach R. Controlling. Vyd — 2. Praha: ASPI, 2004. 814 s. ISBN 80-735-7035-1.

12. Horvath P. Nově koncepce controllingu: cesta k účinnému controllingu. 1. český vyd. Praha: Profess Consulting. — 288 s. Poradce controllingu. 2004. ISBN 80-725-9002-2.

13. Cinquini L., Tenucci A. Strategic management accounting and business strategy: a loose coupling? // J. Accounting & Organizational Change. 2010. V. 6. № 2. P. 228—259.

14. Synek M. Manažerská ekonomika: manažerský účetnictví v praxi. 4., aktualiz. a roz. vyd. Praha: Grada, 2007. 452 s. ISBN 978-80-247-1992-4.

15. Potkany M., Hitka M. Utilisation of contribution margin in the costing system in the production of components for wood-working machines // In Drvna industrija. 2009. № 60(2). P. 101—110. ISSN 0012-6776.

16. Peurifoy R. L. et al. Construction planning, equipment, and methods. — McGraw-Hill Education, 2018.

17. ГАЗ и "КамАЗ" задержали поставки электробусов Москве [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2018/09/07/780276-zaderzhali-postavki-elektrobusov> (дата обращения: 8.02.2021).

18. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102164547> (дата обращения: 09.04.2020).

19. "КамАЗ" выпустил вездеход "Арктика": VI Междунар. конф. "Арктика: шельфовые проекты и устойчивое развитие регионов" [Электронный ресурс]. URL: <https://arctic.s-kon.ru/kamaz-vypustil-vezdehod-arktiki/> (дата обращения 8.02.2021).

20. Pyke J., Atcheson V. Social recreation services: Issues from a case management perspective // Psycho-social Rehabilitation J. 1993. V. 17. № 2. P. 121.

21. Риаг на основании проведенных испытаний и данных из эксплуатации рассчитал стоимость владения и доход в эксплуатации автомобилей КАМАЗ 6522 с двигателем КАМАЗ и Cummins [Электронный ресурс]. URL: <http://www.riat.ru/news/20.html> (дата обращения: 8.02.2021).

22. КамАЗ Арктика: технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: <https://gruzovik.biz/articles/kamaz-arktiki-tehnicheskie-kharakteristiki> (дата обращения: 8.02.2021).

23. Арсланова Э. К., Мингалева Л. Б. Состав и структура транзакционных издержек корпорации на примере ГО ОАО "КАМАЗ" // В мире научных открытий. 2015. № 5-1. С. 443—448.

24. Калькулятор ОСАГО [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reso.ru/Retail/AGO/OSAGO/Calculator> (дата обращения: 8.02.2021).

25. Налоговый калькулятор — Расчет транспортного налога [Электронный ресурс]. URL: https://www.nalog.gov.ru/rn53/service/calc_transport/ (дата обращения: 8.02.2021).

26. Расчет амортизации автомобиля [Электронный ресурс]. URL: <https://spmag.ru/articles/raschet-amortizacii-avtomobilya> (дата обращения: 8.02.2021).

TOOLS FOR DIGITAL TRANSFORMATION OF THE LIFE CYCLE OF MILITARY AND SPECIAL-PURPOSE MACHINE-BUILDING PRODUCTS

I. O. Garina

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The article considers the existing methodological problems of the life cycle management of military and special-purpose machine-building products. An approach to digital transformation of lifecycle management processes using tools: blockchain ontology, smart contracts and digital twins, is proposed. The economic benefit from the implementation of the considered instruments is estimated.

Keywords: mechanical engineering, special purpose products, life cycle management, life cycle contracts, digital twin, blockchain ontology, smart contracts.

Bibliography — 26 references.

Received July 15, 2021

УДК 519.876

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_17

МЕТОД ОПИСАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ФОРМАЦИЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ КАК ИНФИНИТЕЗИМАЛЬНО ЖЕСТКОЙ СТРУКТУРОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ

П. П. Поделенюк; А. А. Жиленков, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
Санкт-Петербург, Россия

С. Г. Черный, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
г. Керчь, Россия

Рассмотрено управление формацией в мультиагентной системе. Дано описание рассматриваемых типов мультиагентных систем. Указаны их преимущества и связанные с ними проблемы моделирования и управления. Объяснено различие между централизованным и децентрализованным управлением. Описаны основные задачи управления формациями, актуальные проблемы и их решения, основные задачи формации и используемые модели управления агентами. Представлен метод описания формации мультиагентной системы и управления ею на базе теории графов, где жёсткий граф описывает формацию как структуру твёрдого тела. Обсуждены проблемы управления формацией при реализации этого метода.

Ключевые слова: мультиагентные системы, управление формацией, модели управления, деформируемое твёрдое тело.

Выполнено уже множество исследований, связанных с разработкой беспилотных роботизированных платформ. Большое внимание уделяется улучшению поведения этих платформ, чтобы они выполняли данные им задачи в группах.

В данной области под группами принято понимать совокупность агентов, где агент — это система, находящаяся в среде, действующая в среде и воспринимающая среду. Тогда система, состоящая из взаимодействующих между собой агентов, называется мультиагентной системой [1, 2].

Основная задача разработки мультиагентных систем заключается в том, чтобы сотрудничество между агентами могло привести к выполнению сложных задач, выполнение которых в противном случае невозможно. Теория графов играет важную роль во взаимодействии между агентами, где граф показывает топологию сетей связи.

Цель работы — формулирование и исследование задачи описания формаций в мультиагентных системах и проблемы управления ими с помощью формализма теории инфинитезимально жёстких графов.

Поделенюк Павел Петрович, бакалавр.

E-mail: podelenyuk1@gmail.com

Жиленков Антон Александрович, доцент, заведующий кафедрой "Киберфизические системы".

E-mail: marine_electronics@corp.smtu.ru

Черный Сергей Григорьевич, доцент, заведующий кафедрой "Электрооборудование судов и автоматизация производства".

E-mail: sergiiblack@gmail.com

Статья поступила в редакцию 13 мая 2021 г.

© Поделенюк П. П., Жиленков А. А., Черный С. Г., 2021

Мультиагентные системы

Перечислим преимущества мультиагентных систем:

- эффективное выполнение сложных задач;
- в случае выхода одного или нескольких агентов из строя перенастройка для поддержки рабочего состояния;
- способность системы справляться с увеличением рабочей нагрузки при добавлении задач;
- многофункциональность;
- адаптируемость;

- низкие ценовые затраты на массовое производство.

С другой стороны, мультиагентные системы имеют множество проблем:

- распределение информации и подзадач;
- протоколы связи;
- зондирование;
- схемы координации и сотрудничества;
- недопущение столкновения;
- взаимодействие между группой и отдельными агентами.

Пример инженерных мультиагентных систем показан на рис. 1.



Рис. 1. Примеры инженерных мультиагентных систем

Мультиагентная система может быть централизованного и децентрализованного управления. При централизованном управлении каждый агент имеет доступ к информации измерения и/или управления от главного объекта, такого, как центральный процессор или глобальная система позиционирования (GPS).

При децентрализованном управлении любая информация обрабатывается локально каждым агентом через бортовое оборудование и программное обеспечение; полученная и переданная информация находится под ответственностью агентов. Вся необходимая информация предварительно запрограммирована в агенте или вводится с помощью бортовых датчиков.

Управление формациями мультиагентных систем

Еще одним классом задач мультиагентных систем является управление формациями, где локально взаимодействующие между собой агенты образуют геометрические конфигурации [2, 3].

Начнем рассматривать и решать несколько проблем, касающихся управления формациями:

- обретение формации;

- маневрирование формацией;
- захват цели.

Главным примером маневрирования строем и перехватом цели является группа беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для создания аэрофотоснимков.

Задачи формации

Основной задачей управления формацией является достижение образования геометрической пространственной конфигурации независимо от ее глобального положения. То есть алгоритму управления формацией необходимо знать относительное расположение всех агентов. Для этой задачи проще всего использовать центральный планировщик, в котором хранятся абсолютные координаты агентов, и на основе этой информации вычислить их относительное расположение [4].

Пример централизованного управления показан на рис. 2.



Рис. 2. Централизованное управление формацией

Обычно для этого используют глобальную систему позиционирования, но из-за разных условий использования мультиагентных систем (под водой, в лесу, в горах и т. д.) происходит искажение связи между приемником и спутником, а значит, теряется точность абсолютных координат. Следовательно, для таких задач лучше использовать схему децентрализованной формации, где информация принимается бортовыми датчиками. Под датчиками принято понимать:

- радар;
- компас;
- камеру;
- инфракрасные датчики;
- навигационную систему;
- гидролокатор и т. д.

Пример децентрализованного управления показан на рис. 3.



Рис. 3. Децентрализованное управление формацией

Для решения задач формации очень важную роль играет точный контроль взаимного расположения агентов. Это, в свою очередь, зависит от используемой модели движения агентов. Для начала рассмотрим модель одного интегратора, где кинематические точки — это агенты. При этом состояние — это положение, а управляющий вход — скорость.

Другая распространенная модель — модель двойного интегратора, где агенты рассматриваются как голономная точечная масса. Голономная система — система, где агент может двигаться в любом направлении в пространстве конфигурации. При этом состояние — это положение и скорость, а управляющий вход — ускорение. Проще говоря, модель двойного интегратора представляет собой динамическую формацию.

Теория графов

Для описания формы мультиагентной формации, а также межагентного обмена данными, связи и топологии управления в децентрализованном случае применяется теория графов. Рассмотрим теорию (инфинитезимально) жестких графов, которая обеспечивает соблюдение ограничений межагентного расстояния желаемой формации за счет жесткости графа [5].

Такой подход дает гарантию того, что при управлении формацией агенты не столкнутся между собой. Понятие жесткости графов используется как абстракция жесткости физических структур. Вершина графа — это агент, ребро — ограниченное расстояние между агентами. Для большинства формаций на основе жесткости графов используют модель с одним интегратором и при этом рассматривают агент как некую точку. В зависимости от модели, используемой для описания движения агентов, законы

управления формацией стабилизируют динамику расстояния между агентами до желаемого. Также законы управления зависят от расстояния и угла между агентами.

Далее индекс m в $q_i \in \mathbb{R}^m$ будет означать евклидово пространство графа (равен 2 или 3).

Неориентированный граф G — это пара (V, E) , где $V = \{1, 2, \dots, n\}$ — множество вершин, а $E \in V \times V$ — множество неориентированных ребер, таких, что если пара вершин $(i, j) \in E$, то и $(j, i) \in E$ (т. е. пара вершин не упорядочена и учитывается только один раз).

Далее будем рассматривать только неориентированные графы, поэтому термин "неориентированный" будем опускать.

Для любого графа количество ребер l принадлежит множеству

$$l \in \{1, \dots, n(n-1)/2\}.$$

Рассмотрим только те графы, где $n > m$, чтобы исключить частные случаи. Множество соседей вершины i будет представлено как

$$N_i(E) = \{j \in V \mid (i, j) \in E\},$$

(т. е. множество всех вершин, связанных с вершиной i ребром).

Граф G называется полным, если каждая пара различных вершин соединена ребром, т. е. $l = n(n-1)/2$. Полный граф с n вершинами обозначается K_n . На рис. 4 показан пример полного графа K_5 .

Путь — это след, который идет от исходной вершины к конечной вершине путем пересечения ребер графа. Вершины i и j называются связными, если между этими вершинами существует путь. Граф связный, если между каждой парой его вершин существует путь.

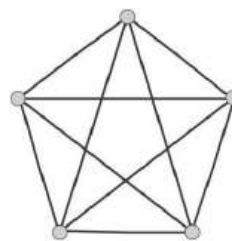


Рис. 4. Пример полного графа K_5

Матрица смежности $A = [a_{ij}] \in \mathbb{R}^{n \times n}$ графа $G = (V, E)$ определена так, что

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (i, j) \in E; \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin E, \end{cases}$$

где $a_{ij} = a_{ji}, i \neq j, a_{ii} = 0$.

Матрица Лапласа $\mathcal{L} = [\ell_{ij}] \in \mathbb{R}^{n \times n}$ определяется как

$$\ell_{ij} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \text{ и } \ell_{ij} = -a_{ij}, i \neq j.$$

Отметим, что матрица Лапласа симметрична и удовлетворяет условию

$$\sum_{j=1}^n \ell_{ij} = 0 \text{ при } i = 1, \dots, n.$$

Матрица Лапласа обладает и другими интересными и полезными свойствами. Если $\lambda_1 \leq \dots \leq \lambda_n$ обозначает n собственных значений матрицы \mathcal{L} , то $\lambda_1 = 0$ и $\lambda_2 \geq 0$, т. е. \mathcal{L} — положительная полуопределённая матрица.

Если G связный, то $\lambda_2 > 0$ (т. е. \mathcal{L} имеет единственное нулевое собственное значение). В этом случае собственный вектор, связанный с λ_1 , $\mathbf{1}_n$ является таким, что $\mathcal{L} \mathbf{1}_n = 0$. Отсюда следует, что $\mathcal{L} x = 0$, когда $x \in \mathbb{R}^n$ с $x_i = x_j, \forall i, j$.

Важно также следующее свойство. Пусть $\mathbf{B} = \text{diag}(b_1, \dots, b_n)$ такая, что $b_i = 1$ или 0 , $i = 1, \dots, n$. Если в данной матрице есть хотя бы одно ненулевое значение, то матрица $\mathbf{M} = \mathcal{L} + \mathbf{B}$ симметрична и положительна.

Проблемы управления формацией

Рассмотрим подробно несколько проблем, связанных с управлением формацией в мультиагентной системе [6].

Рассмотрим систему из n мобильных агентов, где $q_i \in \mathbb{R}^m$ — положение i -го агента относительно фиксированной системы координат, а $u_i \in \mathbb{R}^m$ — соответствующий вход управления. Точнее говоря, u_i будем рассматривать как скорость, ускорение или привод в зависимости от используемой модели движения агентов.

Пусть искомая формация для агентов представлена бесконечно малой и минимально жесткой структурой $F^* = (G^*, q^*)$, где $G^* = (V^*, E^*)$ — граф формации; $\dim(V^*) = n$; $\dim(E^*) = l$; $q^* = [q_1^*, \dots, q_n^*]$.

Постоянное требуемое расстояние между агентами i и j задается следующим образом:

$$d_{ij} = \|q_i^* - q_j^*\| > 0, \quad i, j \in V^*.$$

На практике геометрическая форма/структура желаемой формации диктуется миссией, которую должны выполнить агенты.

Фактическая формация агентов представлена структурой $F(t) = (G_s, g(t))$, где G_s представляет граф датчиков; $g = [g_1, \dots, g_n]$.

Важно видеть разницу между графом формации G^* и графом датчиков G_s : G^* указывает минимальное количество расстояний между агентами, которые необходимо контролировать для успешного достижения желаемой формации, а G_s обозначает пары агентов, которые могут обнаруживать друг друга и/или общаться между собой.

Сделаем следующие предположения относительно желаемых и фактических формаций.

- Множество, в котором агенты достигают желаемой формации, является не пустым, т. е. существует q^* , такое, что $\phi(q^*) = d$, где $d = [\dots, d_{ij}^2, \dots] \in \mathbb{R}^l$, а ϕ — функция для нахождения длин ребер в графе: $\phi(q^*) = [\dots, \|q_i^* - q_j^*\|^2, \dots] \in \mathbb{R}^l$.

- Графы формации и датчика совпадают, т. е. $G_s = G^*$. Кроме того, межагентная связь всегда поддерживается, т. е. агент i всегда находится в пределах диапазона восприятия/связи агента $j \forall j \in N_i(E^*)$. Другими словами, G^* фиксирован.

- При $t = 0$ агенты не удовлетворяют желаемым ограничениям межагентного расстояния:

$$\|q_i^{(0)} - q_j^{(0)}\| \neq d_{ij}, \quad i, j \in V^*.$$

- Единственная измеряемая информация о местоположении — это относительное положение пар агентов в E^* (евклидовом пространстве) $q_i - q_j, (i, j) \in E^*$. То есть глобальное положение агентов $q_i, i = 1, \dots, n$, недоступно для контроля.

Рассмотрим три проблемы, связанные с управлением формацией.

1. *Достижение (построение) формации.* Цель состоит в том, чтобы агенты приобрели и поддерживали заранее заданную геометрическую форму в пространстве. Приобретение формации служит первичной целью для двух других проблем и может быть математически описано как

$$F(t) \rightarrow \text{Iso}(F^*), \quad t \rightarrow \infty.$$

Отметим, что это эквивалентно

$$\|q_i(t) - q_j(t)\| \rightarrow d_{ij}, t \rightarrow \infty, \quad i, j \in V^*.$$

Поскольку необходимо контролировать только межагентное расстояние, фактическая формация может сходиться к любой изометрии F^* . Смысл состоит в том, что формация будет сходиться к одному графу в множестве $\text{Iso}(F^*)$. При этом конкретный граф определяется исходным положением агентов $q_i(0)$, $i = 1, \dots, n$.

2. *Маневрирование формации.* Агенты должны одновременно удерживать формацию и маневрировать согласованно по некоторой заданной траектории. Таким образом, вторичной целью является

$$q_i(t) - u_{di}(t) \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \infty, \quad i = 1, \dots, n,$$

где $u_{di} \in \mathbb{R}^3$ представляет собой желаемую скорость твердого тела для роя агентов. То есть фиксированная форма желаемого образования развивается в пространстве как виртуальное твердое тело, претерпевающее поступательное движение и/или вращение.

Когда u_{di} включает только скорость поступательного движения, проблема маневрирования формации также называется флोकированием [7]. Для случая, когда u_{di} имеет вращательную составляющую, назначаем n -го агента лидером, в то время как остальные агенты являются последователями. То есть агент-лидер служит точкой отсчета для оси вращения виртуального твердого тела.

Таким образом, F^* должна быть построена со следующими дополнительными условиями:

$$\begin{aligned} q_n^* &\in \text{conv}\{q_1^*, \dots, q_{n-1}^*\}; \\ (i, n) &\in E^*, \quad i = 1, \dots, n-1, \end{aligned}$$

т. е. существует грань между каждым последователем и лидером.

На рис. 5 показан пример трехмерной формации F^* , где лидер находится внутри тетраэдра и ось вращения проходит через него. Поскольку агентов 5, необходимо $3n - 6 = 9$ ребер, чтобы каркас был инфинитезимально жестким. Сплошными линиями обозначены ребра, образующие грани тетраэдра, а штриховыми линиями — ребра внутри него.

Связь агента-лидера (вместо виртуального лидера) с осью вращения выполняется для удобства (а не по необходимости), поскольку положение лидера относительно последователей может быть измерено и ему не нужно будет вращаться [8, 9].

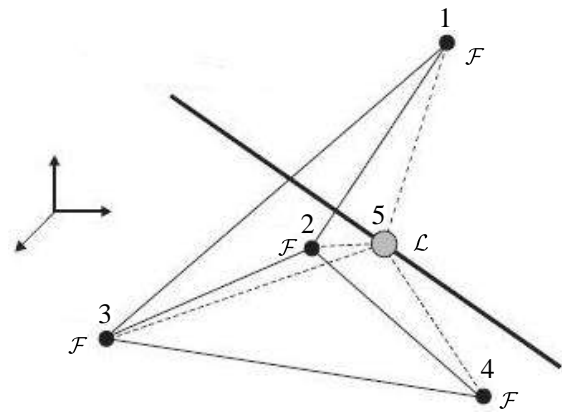


Рис. 5. Пример построения F^* : формация тетраэдра, где \mathcal{L} — лидер, а \mathcal{F} — ведомый

Обратим внимание на то, что если используется виртуальный лидер, то его местоположение должно быть известно, чтобы вычислить его положение относительно агентов. Это, в свою очередь, потребует дополнительных измерений и/или вычислений.

3. *Перехват цели.* Агенты должны перехватить и окружить (возможно, уклоняющуюся) движущуюся цель заранее заданной формацией. Здесь будем использовать подход лидер—последователь, выбрав n -го агента в качестве лидера, а остальных агентов — в качестве последователей. Протокол управления будет иметь вид: выбор F^* так, чтобы $q_n^* \in \text{conv}\{q_1^*, \dots, q_{n-1}^*\}$; лидер, преследующий цель; последователи, отслеживающие лидера, сохраняя желаемую формацию. Таким образом, если $q_T \in \mathbb{R}^m$ обозначает позицию цели, то вторичная цель этой проблемы состоит в том, что $q_T(t)$ приближается к $\text{conv}\{q_1(t), q_2(t), \dots, q_{n-1}(t)\}$ с течением времени, что выражается как

$$q_T(t) \in \text{conv}\{q_1(t), q_2(t), \dots, q_{n-1}(t)\}, \quad t \rightarrow \infty.$$

Заключение

Рассмотрено управление формацией в мультиагентной системе. Дано определение мультиагентным системам, описаны их преимущества и проблемы, возникающие в задачах управления ими. Сформулированы и исследованы базовые задачи управления формациями. Предложен метод описания моделей и синтеза управления на базе теории инфинитезимально жестких графов.

Планируется отдельно рассмотреть модели управления одного интегратора и двойного интегратора.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фрадков А. Л.** Кибернетическая физика: принципы и примеры. — СПб.: Наука, 2003. — 208 с.
2. **Ren W., Beard R. W.** Distributed Consensus in Multi-vehicle Cooperative Control: Theory and Applications — Communication and Control Engineering Series. — New York: Springer Verlag, 2007. — 319 p.
3. **Fax A., Murray R. M.** Information flow and cooperative control of vehicle formations // IEEE Trans. Automat. Contr. Sept. 2004. V. 49 P. 1465—1476.
4. **Zhilentov A. A., Epifantsev I. R.** Problems of a trajectory planning in autonomous navigation systems based on technical vision and AI: 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 1032—1035. DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317265.
5. **Olfati-Saber R., Murray R. M.** Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays — IEEE Trans. Automatic Control. 2004. V. 49. P. 1520— 1533.
6. **Zhilentov A. A., Epifantsev I. R.** System of Autonomous Navigation of the Drone in Difficult Conditions of the Forest Trails: 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). P. 1036—1039. DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317266.
7. **Amelina N., Fradkov A., Amein K.** Approximate Consensus in Multi-agent Stochastic Systems with Switched Topology and Noise: Proc. of MSC IEEE 2012, October 3—5, 2012, Dubrovnik, Croatia. P. 445—450.
8. **Zhilentov A. A., Chernyi S. G.** Automatic estimation of defects in composite structures as disturbances based on machine learning classifiers oriented mathematical models with uncertainties // J. Information Technologies and Computing Systems. 2020. № 3. P. 13—29.
9. **Zhilentov A. A., Chernyi S. G., Sokolov S. S., Nyrkov A. P.** Intelligent autonomous navigation system for UAV in randomly changing environmental conditions // J. Intelligent & Fuzzy Systems. 2020. V. 38. № 5. P. 6619—6625. DOI: 10.3233/JIFS-179741.

THE METHOD OF DESCRIBING AND CONTROLLING THE FORMATION OF A MULTI-AGENT SYSTEM AS AN INFINITESIMALLY RIGID STRUCTURE OF THE INFORMATION ENVIRONMENT

P. P. Podelenyuk, A. A. Zhilentov

Saint Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

S. G. Chernyi

Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia

This article discusses what is formation control in a multi-agent system. The concept of a multi-agent system, its advantages and problems was given. Explained the difference between centralized and decentralized management. The concept of formation control, its problems and solutions was given. The main tasks of the formation control and the used models of agent management were described. The influence of graph theory on the control of the formation was also said. The problems of formation control are considered.

Keywords: multi-agent systems, formation control, control models, deformable rigid body.

Bibliography — 9 references.

Received May 13, 2021

УДК 001.891.57

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_23

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

Р. В. Катюха, канд. техн. наук

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

А. В. Евенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Рассматривается марковская модель приобретения специалистами навыков и умений управления сложными техническими комплексами (ТК) с учетом возможности статистической аппроксимации этого процесса. В качестве аппроксимирующих полиномов используются интерполяционные многочлены Лагранжа. Задача определения максимальных уровней подготовки специалистов решается на основе применения метода z-преобразований линейного марковского процесса приобретения обучаемыми навыков и умений управлять техническими комплексами.

Ключевые слова: марковский процесс, матрица, статистическая аппроксимация, определитель, обратная матрица, единичная матрица, статистические критерии.

Подготовка специалистов по эксплуатации сложных технических комплексов нередко связана с необходимостью формирования навыков управления системой, представляющих собой множество стереотипно выполняемых операций. При этом в качестве критериев успешности выполнения таких учебных заданий, как правило, рассматриваются число совершенных специалистом ошибок, время выполнения задания (общее или его части) и т. д. Указанные навыки могут формироваться с учетом изменяющихся условий эксплуатации технического комплекса, что, естественно, усложняет систему отработки навыков управления ТК [1]. Важно при этом учитывать, что принимаемые во внимание в этом процессе нештатные или иные ситуации, действия по которым или с учетом которых далее будут отрабатываться в процессе обучения, рассматриваются на этих отрезках отработки навыков управления ТК как стационарные условия обучения специалистов, отражающие их структурно-функциональное содержание. Это обычная практика поэтапной подготовки специалистов такого профиля [2]. На каждом таком

этапе важными с точки зрения определения стратегии или необходимой коррекции форм и методов обучения являются вопросы, связанные с оценкой предельно достижимого уровня обучения при условии применения имеющихся форм, методов и технических средств обучения. Эти вопросы далее, как правило, связывают с оценкой возможностей ресурсных затрат, прежде всего временных и стоимостных. С учетом приведенного описания условий приобретения специалистами навыков и умений управления ТК наиболее удобной формой представления этого процесса является применение марковских моделей [3–6].

Будем полагать, что оцениваемое качество деятельности специалиста (оператора) (например, время, производительность, число ошибок и т. п.) разбивается на подынтервалы значений $x_i \in X$, соответствующих, например, градациям его профессиональной подготовки. При этом переходы от одного подынтервала x_i к другому (x_j) определяются вероятностями перехода, которые задаются матрицей $\|P_{ij}\| = (i, j = \overline{1, v})$, определяемой в течение цикла предыдущих периодов тренировок (циклов обучения) оператора с использованием, допустим, имеющихся технических средств подготовки.

Для расчета прогнозируемых значений исследуемого процесса приобретения навыков управления ТК с использованием метода марковских цепей задается построенная на основе предвари-

Катюха Роман Васильевич, преподаватель кафедры.

E-mail: romankatyuha@mail.ru

Евенко Александр Валериевич, заместитель начальника кафедры.

E-mail: alex.question@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24 июня 2021 г.

© Катюха Р. В., Евенко А. В., 2021

тельного анализа матрица переходов результатов деятельности специалиста из одного подынтервала значений качества его деятельности в другой: т. е. $P = \|P_{ij}\|_{i,j=1,n}$. При этом очевидно

$$\text{условие } \sum_{j=1}^n P_{i,j} = 1 \forall i = 1, n.$$

Вероятности переходов могут быть определены следующим образом: с помощью экспертных оценок; на основе генерирования вероятностей перехода с помощью датчика случайных чисел; путем ретроспективного анализа оценок вероят-

ностей по формуле $P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$, где n_{ij} — число переходов качества деятельности оператора на ретроспективном интервале; N — общее число переходов за наблюдаемый период времени.

Нередко динамика изменения переходных вероятностей может иметь более сложную структуру, т. е. они могут зависеть не только от предыдущего состояния, но и от более ранней предыстории процесса. Устойчивость динамики изменения состояния показателей прогнозируемого процесса обучения определяется относительным за последующий период наблюдений уменьшением вероятности P_{ij} . Этот процесс связан с последовательным уточнением реального процесса оценки ситуации, т. е. состояния объема знаний управления ТК. Убывание этой вероятности происходит через несколько интервалов времени наблюдений согласно зависимости [4, 5]: $P_{ij} = S_{ij} + \frac{r_{ij}}{k}$, где S_{ij} , r_{ij} — коэффициенты; k — число оценок (шагов) показателей уровня знаний обучаемого;

$$S_{ij} = \frac{kP_{ikj} - 1}{k - 1}; \quad r_{ij} = \frac{k}{k - 1}(1 - P_{ikj}); \quad (1)$$

P_{ikj} — вероятность того, что показатель уровня знаний обучаемого после k шагов пребывания в i -м подынтервале значений перейдет в j -й подынтервал. Изменение величины P_{ikj} вызывает и изменение вероятностей P_{ij} , которое будет определяться поправочным коэффициентом:

$$P_{ij} = \alpha(k) P_{ikj}; \quad P_{ikj} = \frac{1 - P_{ij}(k)}{\sum_{i \neq 1} P_{ij}}. \quad (2)$$

Выражение (2) позволяет учесть периодические колебания временного ряда через равное число шагов. Рассмотрим некоторые формальные процедуры, связанные с вероятностями перехода из одного подынтервала в другой. Пусть

выбраны подынтервалы $x_i \in X$. Введем обозначение $P_j(k)$ — вероятность i -го состояния объекта оценки в момент времени, связанный с реализацией k -го шага прогнозирования. При этом под состоянием объекта (процесса) прогнозирования понимаются конкретные имеющие физическую природу показатели (баллы, время, безошибочность выполнения задания, число ошибок и т. п.). По условию марковости процесса на шаге прогнозирования получим

$$P_j = \sum_{i=1}^n P_i(k-1)P_{ij}(k), \quad (3)$$

где $P_{ij}(k)$ — условная вероятность перехода модели процесса обучения из состояния i в состояние j , т. е. $P_{ij}(k)$ есть условная вероятность того, что случайное значение прогнозируемого процесса, находящегося после $(k-1)$ -го шага в i -м подынтервале, окажется в j -м подынтервале после k -го шага исследования. В матричной форме выражение (3) может быть записано следующим образом [4]:

$$P(k) = P(k-1)A_k, \quad (4)$$

где $P(k-1) = \|P_1(k-1), P_2(k-1), \dots, P_n(k-1)\|$ — вектор-строка вероятностей состояний на $(k-1)$ -м шаге состояния исследования прогнозируемого объекта (процесса обучения);

$A_k = \|P_{ij}(k)\|$ — матрица переходных вероятностей на k -м шаге исследования процесса практической подготовки специалиста.

В качестве переходной вероятности $P_{ij}(k)$ может быть принята ее статистическая оценка:

$$P_{ij}(k) = \frac{n_{ij}(k)}{\sum_{j=1}^m n_{ij}(k)},$$

где $n_{ij}(k)$ — число переходов измеряемого параметра исследуемого процесса на k -м шаге исследования из i -го подынтервала в j -й, $j = (1, m; j \neq 1)$.

Таким образом, выражение (4) позволяет определить искомые вероятностные характеристики динамики изменения исследуемого процесса приобретения навыков управления ТК. Однако эмпирический путь получения статистической информации не позволяет производить прогноз исследуемого процесса (в данном случае процесса обучения) на период времени, превышающий интервал одного шага. В связи с этим можно воспользоваться помимо выражений (1) и (2) методами статистической аппроксимации.

В качестве аппроксимирующих полиномов могут быть использованы регрессионные многофакторные модели, параболические функции с использованием полиномов Чебышева, неканонических форм Черницкого, интерполяционных многочленов Лагранжа и т. д. [4].

В частности, при использовании в процедурах аппроксимации интерполяционных многочленов Лагранжа вероятность перехода $P_{ij}(k)$ будет определяться выражением

$$P_{ij}(k) = \sum_{l=1}^L P_{ij}(l) \times \frac{(k - k_0) \times \dots \times (k - k_{l+1})(k - k_{l+1}) \times \dots \times (k - k_L)}{(l - k_0) \times \dots \times (l - k_{l-1})(l - k_{l+1}) \times \dots \times (l - k_L)}, \quad (5)$$

где k_l — номер шага исследования динамики изменения процесса, соответствующий l -й точке временного ряда;

$P_{ij}(l)$ — переходная вероятность, определенная в l -й точке временного ряда.

Например, допустим, что необходимо вычислить интерполяционный многочлен Лагранжа для функции, определяющей вероятность $P_{21}(k)$ перехода уровня профессиональной подготовки обучаемого из состояния "негоден" (2-й подынтервал оценки качества выполнения учебного задания) в состояние "годен" (1-й подынтервал оценки). Здесь k соответствует номеру шага (опыта, эксперимента и т.п.), представляемого в l -й точке временного ряда анализа деятельности обучаемого. Функция $P_{21}(k)$ представлена в таблице [4].

Значения функции $P_{21}(k)$

$\frac{k}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{5}{4}$
$P_{21}(k)$	0,01	0,05	0,14	0,81

Степень полученного многочлена Лагранжа не должна быть выше третьей, так как функция $P_{21}(k)$ задается четырьмя значениями. Подставляя исходные данные в формулу (5), получим

$$\begin{aligned} P_{21}(k) &= 0,01 \frac{(k-2)(k-3)(k-5)}{(1-2)(1-3)(1-5)} + \\ &+ 0,05 \frac{(k-2)(k-3)(k-5)}{(2-1)(2-3)(2-5)} + \\ &+ 0,14 \frac{(k-2)(k-3)(k-5)}{(3-2)(3-3)(3-5)} + \\ &+ 0,81 \frac{(k-2)(k-3)(k-5)}{(5-2)(5-3)(5-5)} = \\ &= 0,01k^3 - 0,02k^2 + 0,03k - 0,01. \end{aligned}$$

Оценка точности аппроксимации может быть проведена методом последовательных приближений при добавлении полиному (5) очередного члена. В качестве критерия обычно используется критерий Фишера. При этом для прогнозируемых значений $P_{ij}(k)$ принимается очевидное ограничение:

$$P_{ij}^*(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{ij}^{\text{прог}}(k^*) \geq 1; \\ 0, & \text{если } P_{ij}^{\text{прог}}(k^*) \leq 0, \quad k^* > k, \end{cases}$$

где $P_{ij}^{\text{прог}}(k^*)$ — прогнозируемые значения вероятностей перехода.

Применение данного метода аппроксимации позволяет экстраполировать значение финальных вероятностей пребывания прогнозируемого процесса в выделенных подынтервалах.

Например, таким прогнозируемым процессом может быть коэффициент усвоения учебного материала в ходе практических занятий. В этом случае подобный прогноз позволяет определить число практических занятий, необходимых для достижения обучаемым заданного уровня практических навыков. Расчеты и практика показывают, что построение аппроксимирующего полинома возможно для 3—4 точек (занятий) временного ряда [4]. Иначе говоря, после 3—4 практических занятий параметры кривой обучаемости могут достоверно отражать динамику их изменения. Если из некоторых соображений заданы ограничения на число практических занятий, то подобные расчеты позволяют на ранних этапах выявить контингент обучаемых, прогнозируемый уровень практических навыков которых ожидается ниже требуемого. В этом случае целесообразным следует считать частичное или полное изменение дидактического процесса (например, проведение дополнительных консультаций, привлечение обучаемых к выполнению соответствующих заданий на технике, изменение состава и структуры технических средств обучения и т. д.).

Нестационарный характер матриц A_k указывает на то, что процесс усвоения практических навыков обучаемыми находится на периоде начальной организации опыта [3, 6]. И наоборот, стационарный характер матриц свидетельствует о том, что практические навыки обучаемого соответствуют уже периоду самоорганизации опыта. Этот период характеризуется тем, что процессы обучения в основном закончены, а результаты выполнения заданий во многом уже определяются психологическими свойствами личности обучаемых (настойчивостью, целе-

устремленностью, волей и т. п.). Таким образом, стационарный характер матриц A_k позволяет судить об адекватности параметров технологии обучения целям, задачам и личностным характеристикам обучаемых. Определение начала наступления периода самоорганизации опыта в учебном процессе является важной задачей подсистемы управления учебным процессом при применении автоматизированных систем обучения. Строгая статистическая оценка начала стационарного процесса обучения может быть осуществлена, например, с помощью функций правдоподобия [3, 7] или применения критерия χ^2 . Выбор критерия χ^2 в данном случае может быть обусловлен в данном случае тем, что истинное распределение параметров деятельности обучаемых (времени выполнения учебных заданий, коэффициента усвоения учебного материала и т. п.) неизвестно. Критерий χ^2 выражается следующей формулой [3, 8]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(w_{эки} - w_{ожки})^2}{w_{ожки}}, \quad (6)$$

где $w_{эки}$ — экспериментальные характеристики распределения исследуемого параметра в i -м подынтервале;

$w_{ожки}$ — ожидаемые характеристики распределения, выдвигаемого в качестве гипотезы.

В частном случае, учитывая выражения (3), (4), формулу (6) можно записать следующим образом:

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^m \frac{[n_{ij}(k) - \sum_{j=1}^m P_{ij}(k-1) M_j(k)]^2}{\sum_{j=1}^m P_{ij}(k-1) M_j(k)}, \quad (7)$$

где $M_j(k)$ — общее число переходов оцениваемого показателя динамики изменения исследуемого процесса из j -го подынтервала.

На этапе самоорганизации опыта процесс обучения описывается однородной марковской цепью. На этом этапе интерес представляют предельные возможности обучаемого по формированию у него практических навыков. Их можно выразить через предельные значения вероятностей $P_i^{\text{пред}} = \lim P_i(k)$, где $P_i(k)$ определяется

выражением (3), т. е. при условии неограниченного числа тренировок. В этом случае предельные возможности обучаемого будут определяться его психологическими и физиологическими характеристиками, уровнем мотивации и т. д.

Для определения величин $P_i^{\text{пред}}$ целесообразно использовать метод z -преобразований, ко-

торый достаточно полно изложен в исследованиях [7]. В матричной форме расчетные формулы предельных переходных характеристик с учетом z -преобразований имеют вид [7, 9]

$$\|P(Z)\| = \|P(0)\| \|J - ZA_k\|^{-1}, \quad (8)$$

где $P(Z)$, $P(0)$ — z -преобразование вектор-строки вероятностей состояний A_k и начальных состояний P_0 ; $\|P(Z)\| = \|P_1(Z), P_2(Z), \dots, P_n(Z)\|$; $P_i(Z)$ — z -преобразование вероятностей $P_i(k)$; J — единичная матрица; A_k — матрица переходных состояний стационарного процесса обучения; $\|\dots\|^{-1}$ — обратная матрица.

Переход от преобразования к оригиналу осуществляется с помощью обратного преобразования, производимого аналитически либо с помощью таблиц [7]. В этом случае, если определенный контингент обучаемых на стационарном участке процесса обучения имеет предельные характеристики качества практических навыков ниже требуемых значений, то дидактический процесс должен быть перестроен таким образом, чтобы в определенной степени компенсировать психологические недостатки обучаемых и усилить влияние мотивационной структуры обучения.

Рассмотрим пример реализации данной методики. Допустим, что в течение установленного периода наблюдений выполнялась оценка уровня практических навыков управления объектом обучаемым. В качестве показателей рассматривалось число ошибок управления объектом. В ходе контроля фиксировались факты превышения числа ошибок, совершенных обучаемым, допустимого уровня. В итоге за установочный период контроля было зафиксировано десять таких нарушений. Результаты оценок представлены на рисунке.

Произведем расчет переходных вероятностей P_{ij} ($i, j = 1, 2$). Как видно из рисунка, число переходов из первого состояния в любое другое (x_1 или x_2) $n_1 = 8$, а из второго $n_2 = 2$.

Число переходов из первого состояния в первое $n_{11} = 5$, из первого во второе $n_{12} = 3$. Тогда $P_{11} = \frac{5}{8} = 0,62$; $P_{12} = \frac{3}{8} \sim 0,37$; $P_{21} = \frac{3}{8} \sim 0,37$.

Аналогично получаем $P_{21} = 1$; $P_{22} = 0$. В этом случае матрица переходных вероятностей для рассмотренного установочного периода наблюдений эксплуатации ТК будет иметь вид

$$P(t) = \begin{bmatrix} 0,62 & 0,37 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$



График изменений числа ошибок x в контрольном цикле наблюдений процесса обучения

Будем считать, что по результатам предварительного анализа уровня теоретической подготовки обучаемого предположительно был сделан вывод о том, что ожидаемый уровень практической подготовки обучаемого должен соответствовать по принятому критерию (числу ошибок) удовлетворительным значениям эксплуатационных ТК, т. е. $P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$. Тогда вероятность того, что обучаемый на первом последующем цикле наблюдений будет находиться, например, в i -м состоянии, будет равна $P_i = P_0 P(k)$.

Рассмотрим пример расчета предельных значений, исходя из тенденций динамики изменений показателей обученности специалистов. Будем считать, что на определенном этапе матрица переходных вероятностей $P = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \\ 0,3 & 0,7 \end{bmatrix}$. В соответствии с правилами матричного исчисления для рассмотренных исходных данных получим $A = \|J - Z A_k\| = \begin{bmatrix} 1 - 0,5z & 0,5z \\ 0,3z & 1 - 0,7z \end{bmatrix}$. Определитель Δ матрицы A будет равен [6, 9]

$$\Delta = (1 - 0,7z)(1 - 0,5z) - 0,3z \cdot 0,5z = 0,2z^2 - 1 \cdot 0,2z + 1 = (1 - z)(1 - 0,2z).$$

Тогда [6, 7]

$$A^{-1} = \|J - ZP\|^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1 - 0,7z}{(1 - z)(1 - 0,2z)} & \frac{-0,3z}{(1 - z)(1 - 0,2z)} \\ \frac{-0,5z}{(1 - z)(1 - 0,2z)} & \frac{1 - 0,5z}{(1 - z)(1 - 0,2z)} \end{bmatrix}.$$

Разложим элементы матрицы A^{-1} на слагаемые вида $\frac{\alpha}{1 - z}$ и $\frac{b}{1 - 0,2z}$. Например,

$$\frac{1 - 0,7z}{(1 - z)(1 - 0,2z)} = \frac{0,375}{(1 - z)} + \frac{0,625}{(1 - 0,2z)}.$$

Переходя далее к оригиналу, в соответствии с методикой [4] получим следующие значения переходных вероятностей по циклам контроля:

$$H(k) = \begin{bmatrix} 0,375 & 0,625 \\ 0,375 & 0,625 \end{bmatrix} + (0,2)^k \begin{bmatrix} 0,375 & -0,625 \\ -0,375 & 0,625 \end{bmatrix}.$$

В соответствии с [4] предельные значения вероятностей состояний уровней приобретенных навыков обучаемого будут равны $P^{\text{пред}} = \|P_1^{\text{пред}}, P_2^{\text{пред}}\| = \|0,375, 0,625\|$. Таким образом, с вероятностью 0,375 уровень ошибок обучаемого в пределе будет соответствовать области допустимых значений для успешного управления ТК и с вероятностью 0,625 будет находиться в области их недопустимых значений. Если $P_1^{\text{пред}} = 0,375 \leq P_1^{\text{зад}}$ и $P_2^{\text{пред}} = 0,625 \leq P_2^{\text{зад}}$, то принимается окончательное решение о необходимости превентивной реализации методических и технических мер по повышению качества практической подготовки специалистов. Обычно $P_1^{\text{зад}}$ и $P_2^{\text{зад}}$ выбираются из условия достижения целевых задач обучения.

Заключение

Рассмотренная методика позволяет с достаточно высокой точностью прогнозировать тре-

буемое количество практических занятий по специальным дисциплинам на тот или иной период обучения. Ее использование дает возможность реально учитывать индивидуальные характеристики обучаемых, осуществлять контроль за их практической подготовкой и своевременно, на раннем этапе перестраивать ход дидакти-

ческого процесса в соответствии с выявленными недостатками. Кроме того, в рамках методики прогноза возможно определение числа дополнительных практических занятий для "доучивания" слабых групп или восстановления уровня обученности в случае перерыва в занятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А. О., Херувимова С. С., Школьная С. В. Предложения по совершенствованию методики оценки эффективности деятельности коммерческих и бюджетных организаций, занятых научно-технической деятельностью: тр. IV Всероссийской научно-техн. конф. "РТИ Системы ВКО — 2016". 2017. С. 945—950.
2. Жуков А. О., Кобзев И. А. Стили руководства в современных группах и организациях // Этносоциум и межнациональная культура. 2008. № 1(9). С. 180—185.
3. Багрецов С. А., Тарасов А. В., Ачкасов Н. Б. Психолого-педагогический эксперимент: организация и методы обработки результатов: монография. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2008. — 347 с.
4. Ли Ц., Джадж Д., Зельнер А. Оценивание параметров марковских моделей по агрегированным временным рядам / Пер. с англ. — М.: Статистика, 1977. — 278 с.
5. Портенко Н. И., Скороходов А. В., Шуренков В. М. Марковские процессы. — М.: ВИНТИ. 1989. — 248 с.
6. Багрецов С. А. Оценка знаний обучаемых в автоматизированных обучающих системах. — Л.: МО ПВУРЭ, 1991. — 387 с.
7. Шевцов Г. С. Линейная алгебра: теория и прикладные аспекты: учеб. пособие. Изд. 3, испр. и доп. — М.: Магистр: ИНФРА-М., 2014. — 544 с.
8. Беллман Р. Введение в теорию матриц. Изд. 2. / Пер. с англ. — М.: Наука, 1976. — 352 с.
9. Гантмахер Ф. Теория Матриц. — М.: Физматлит, 2010. — 387 с.

METHOD OF FORECASTING THE PROCESS OF TRAINING SPECIALISTS BASED ON THE USE OF MARKOV MODELS

R. V. Katyukha

Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

A. V. Evenko

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The Markov model of acquisition by specialists of skills and abilities of management of complex technical complexes is considered, taking into account the possibility of statistical approximation of this process. Lagrange interpolation polynomials are used as approximating polynomials. The problem of determining the maximum levels of training of specialists is solved on the basis of the application of the method of z-transformations of the linear Markov process of acquisition by trainees of skills and abilities to manage technical complexes.

Keywords: markov process, matrix, statistical approximation, determinant, inverse matrix, unit matrix, statistical criteria.

Bibliography — 9 references.

Received June 24, 2021

УДК 666.3.019

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_29

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ

^{1, 2} Д. В. Харитонов, д-р техн. наук; ¹ А. В. Терехин, канд. техн. наук;

¹ М. Ю. Русин, д-р техн. наук; ^{1, 2} А. А. Анашкина, канд. техн. наук;

¹ М. С. Тычинская, канд. техн. наук; ¹ А. И. Амосов; ¹ Е. В. Маслова; ¹ М. Е. Типикин

¹ АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина», г. Обнинск, Калужская обл., Россия

² ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия

Разработана методика визуально-оптического контроля поверхности изделий из кварцевой керамики на наличие дефектов, основанная на эффекте ослабления интенсивности светового потока при прохождении света через дефект в структуре материала. Методика позволяет выявлять не только поверхностные, но и подповерхностные дефекты материала различного характера: трещины, царапины, поры, раковины, включения.

Ключевые слова: кварцевая керамика, контроль качества, неразрушающий контроль, дефект, трещина, оптическая прозрачность.

Наблюдается постоянный рост требований к безопасности летательных аппаратов и их составным элементам. Вследствие усложнения конструктивных схем и роста скорости полета современных ракет одной из актуальных проблем при их изготовлении является обеспечение надежности готовых изделий [1, 2].

Харитонов Дмитрий Викторович, заместитель директора научно-производственного комплекса по производственной деятельности — начальник цеха, доцент кафедры "Химическая технология керамики и огнеупоров".

E-mail: haritonovdv1978@gmail.com

Терехин Александр Васильевич, начальник лаборатории. E-mail: aterehin@list.ru

Русин Михаил Юрьевич, директор научно-производственного комплекса "РПО" — главный конструктор. E-mail: info@technologiya.ru

Анашкина Антонина Александровна, начальник лаборатории. E-mail: info@technologiya.ru

Тычинская Мария Сергеевна, инженер-технолог 1-й категории. E-mail: motornovamariya@gmail.com

Амосов Алексей Игоревич, руководитель группы. E-mail: napaz@obninsk.ru

Маслова Екатерина Васильевна, руководитель группы. E-mail: gorelova_ev@bk.ru

Типикин Максим Евгеньевич, начальник сектора. E-mail: info@technologiya.ru

Статья поступила в редакцию 15 июля 2021 г.

© Харитонов Д. В., Терехин А. В., Русин М. Ю., Анашкина А. А., Тычинская М. С., Амосов А. И., Маслова Е. В., Типикин М. Е., 2021

Одним из основных элементов высокоскоростных ракет является головной радиопрозрачный обтекатель, который представляет собой конструкцию из радиопрозрачной оболочки и металлического шпангоута, соединенных между собой посредством адгезионного слоя [3]. Главной задачей головного антенного обтекателя является защита антенного блока от воздействия внешних факторов. Кроме того, обтекатель определяет тактико-технические характеристики ракеты и регулирует точность наведения на цель.

Ранее основным конструкционным материалом для ракет служил стеклопластик, однако в современных летательных аппаратах температура на поверхности обтекателя может достигать 2000 °С, что делает данный материал не пригодным для таких жестких условий эксплуатации. Основными материалами при изготовлении головных антенных обтекателей являются керамика и ситаллы. Преобладает керамика, поскольку она обладает высокими механическими характеристиками и эрозионной устойчивостью, а также высокой термостойкостью и низкой теплопроводностью [4, 5]. В частности, в качестве материала для изготовления крупногабаритных головных антенных обтекателей лидером является кварцевая керамика.

Несмотря на все преимущества керамического материала, главным его недостатком является наличие случайного распределения дефектов (раковин, включений, микротрещин) в его структуре [6, 7], которые оказывают негативное влияние на механические свойства керамики и надежность летательного аппарата в целом.

Для повышения надежности керамических изделий радиотехнического назначения необходимо обеспечить точность выявления дефектов в структуре материала в процессе механической обработки. На данном этапе оболочка приобретает конечную форму, после чего ее передают на дальнейшие операции. Конечные этапы изготовления головных антенных обтекателей являются наиболее ответственными, поэтому наличие не идентифицированных дефектов в материале оболочки приводит к снижению прочности кварцевой керамики и является недопустимым. Вариант решения проблемы — разработка методики визуально-оптического контроля изделий.

Теоретические основы визуально-оптического метода контроля

В результате проведенного исследования разработана методика визуально-оптического контроля поверхности изделий из кварцевой керамики на наличие дефектов, основанная на эффекте ослабления интенсивности светового потока при прохождении света через дефект в структуре материала.

При разработке методики использовали принципы прохождения и преломления света в материалах, прозрачных в оптической области света, в целях обеспечения максимального контраста дефекта на фоне основного материала методом подбора углов освещения и наблюдения, спектра и интенсивности источника, а также повышения степени прозрачности контролируемых материалов. Такой принцип позволяет выявлять не только поверхностные, но и подповерхностные дефекты материала различного характера: трещины, царапины, поры, раковины, включения.

Самым важным критерием для выявления дефекта является контраст, который определяют по формуле

$$k = (B_0 - B_{\Phi}) / (B_0 + B_{\Phi}), \quad (1)$$

где B_0 и B_{Φ} — яркости объекта в областях дефекта и фона.

Аналитический расчет контраста дефектов в зависимости от описанных факторов — сложная задача, решение которой получено пока только для простейших случаев, поэтому достижение максимального контраста осуществляется эмпирическим путем.

Известно, что разрешающая способность зрения, т. е. способность различать мелкие детали изображения, зависит от яркости, контраста, цветности и времени наблюдения объекта кон-

троля (ОК). Она максимальна в белом или желто-зеленом свете при освещенности не менее 500 люкс, высоком контрасте объекта ($|k| > 0,5$) и времени наблюдения 5—20 с.

Угловая разрешающая способность глаза (минимальный угол между деталями изображения, которые он различает) равна 1° при расстоянии до объекта $l = 250$ мм и соблюдении указанных условий. Линейное разрешение в плоскости ОК $\varepsilon \approx 0,08$ мм. Частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) глаза имеет максимум при угловом размере объекта $\alpha = 1^\circ$ и спад в области как низких, так и высоких пространственных частот. Использование увеличивающей оптики (лупа, микроскоп) повышает разрешение в число раз, равное увеличению прибора.

Стереоскопическое разрешение глаза, т. е. способность отдельно различать по глубине детали объекта, составляет примерно $5''$ — $10''$. Применение стереомикроскопов повышает разрешение по глубине пропорционально их увеличению.

Поле зрения глаза составляет примерно 180° по горизонту для обоих глаз. При этом поле ясного зрения 22° по вертикали и 30° по горизонтали, а зона четкого видения составляет около 2° . Время инерции зрения — около 0,1 с.

Важнейшей характеристикой зрения является контрастная чувствительность (КЧ), т. е. минимальная обнаруживаемая разность яркостей $k = \Delta B/B$ объекта и фона, причем k_{\min} примерно равна 0,01 при $B = 10$ — 100 кд/м² в зеленом свете и угловом размере объекта более 1° [8].

Качество изображения дефекта, определяющее его выявляемость, называется видимостью:

$$V = k/k_{\min}, \quad (2)$$

где k и k_{\min} — фактический и минимальный в данных условиях контрасты.

Все перечисленные характеристики являются ключевыми для осуществления задачи визуально-оптического контроля поверхности керамических изделий в целях повышения качества изображения дефекта.

Разработка методики визуально-оптического контроля оболочек

В ходе разработки методики было установлено, что перед проведением контроля необходимо увеличить оптическую прозрачность оболочки, погрузив ее на 20 мин в наполненную водой механизированную ванну и затем высушив до исчезновения глянца водяной пленки на поверхности.

Погружение изделия на определенное время в емкость с водой перед проведением визуально-оптического контроля увеличивает прозрачность материала в оптической области света, что помогает обнаружить не только поверхностные, но и подповерхностные дефекты. Это происходит за счет того, что вода заполняет поры и повышает однородность материала, а также уменьшает рассеяние света на границах раздела сред. Пропитывание изделия водой также увеличивает чувствительность выявления поверхностных дефектов, так как вода, заполняя материал в месте несплошности, еще больше повышает прозрачность в районе дефекта, тем самым создавая характерный ореол, который гораздо светлее окружающего фона и дефекта (рис. 1). Освещенность поверхности пропитанного водой изделия увеличивается минимум на два порядка.

Контроль необходимо проводить в светоизолированной комнате, где источником освещения служат прожекторы, находящиеся в составе установок для контроля наружной и внутренней поверхностей.

Установлено, что целесообразно разделить процесс контроля на два этапа: выявление дефектов вблизи наружной и внутренней поверхностей в прошедшем излучении; определение расположения обнаруженных дефектов в отраженном излучении.

При проведении первого этапа предполагается поиск дефектов вблизи наружной и внутренней поверхностей в проходящем излучении, что значительно повышает производительность и снижает утомляемость оператора, а также позволяет выявлять подповерхностные дефекты. При контроле изделия, не содержащего дефектов, это является несравнимым выигрышем в трудоемкости.

При контроле наружной поверхности изделие устанавливают на поворотный стол устройства контроля и внимательно осматривают всю поверхность, поворачивая изделие вокруг своей оси на 360° и последовательно перемещая источник освещения по высоте зоны не более 300 мм с помощью гидравлической тележки (рис. 2).

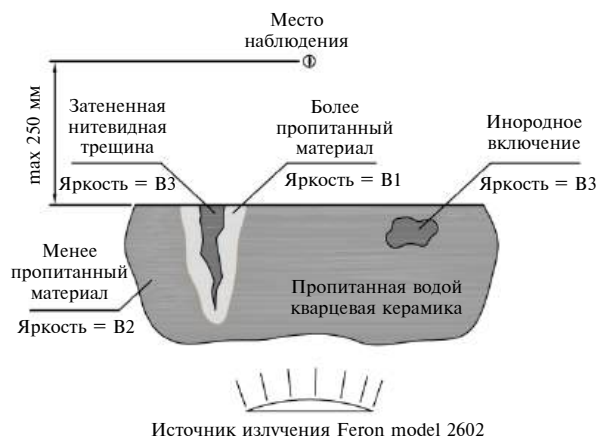


Рис. 1. Схематичное изображение проявления дефектов на пропитанной водой поверхности керамического изделия в проходящем излучении

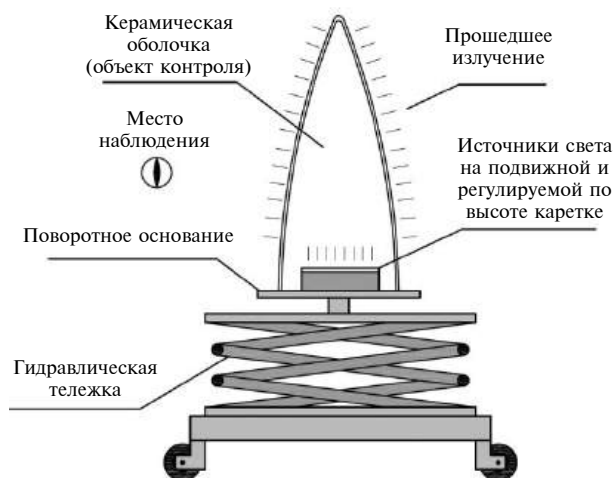


Рис. 2. Схема визуально-оптического контроля наружной поверхности изделий из кварцевой керамики в проходящем излучении

При контроле внутренней поверхности изделия устанавливают на роликовые опоры устройства контроля и, поворачивая изделие вокруг своей оси на 360° , внимательно осматривают всю поверхность, последовательно перемещая источник освещения на каретке по направляющей по зонам высотой не более 300 мм (рис. 3). Для контроля труднодоступных мест возможно использование электронной лупы или эндоскопа [9].

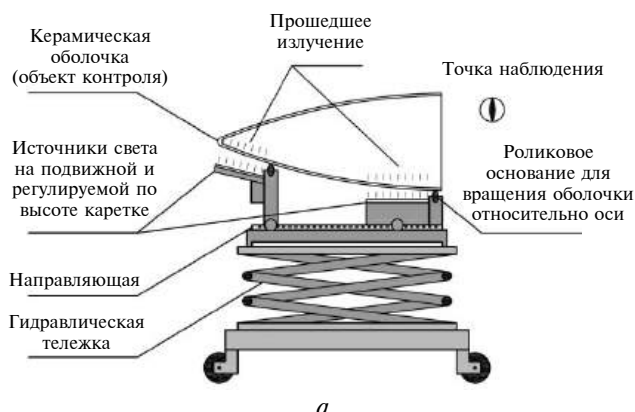


Рис. 3. Изображение процесса визуально-оптического контроля внутренней поверхности изделий из кварцевой керамики в проходящем излучении:
а — схема контроля; б — изображение установки

Трещина в прошедшем излучении определяется как нитевидная темно-серая линия на поверхности изделия, имеющая светлый ореол, отличающийся более ярким свечением по сравнению с общим фоном подсвечиваемой поверхности. Включение в прошедшем излучении определяется как светлое или темное пятно (в зависимости от природы включения) любой

формы, имеющее четкие (не размытые) границы.

В случае выявления дефектов в проходящем свете необходимо провести второй этап: анализ и отбраковку обнаруженного дефекта в отраженном свете. Использование метода контроля в отраженном свете дает возможность определить месторасположение дефекта (на поверхности или вблизи поверхности), получить более контрастную картину поверхностного дефекта, определить его действительные размеры и отбраковать по заданным параметрам. Для этого необходимо подобрать угол освещения поверхности и угол наблюдения таким образом, чтобы обеспечить максимальный контраст неровностей контролируемой поверхности (следы от механической обработки и шагрень лакокрасочного покрытия). Придерживаясь выбранных углов, можно определить месторасположение (поверхностный или подповерхностный) и размеры выявленных дефектов (рис. 4).

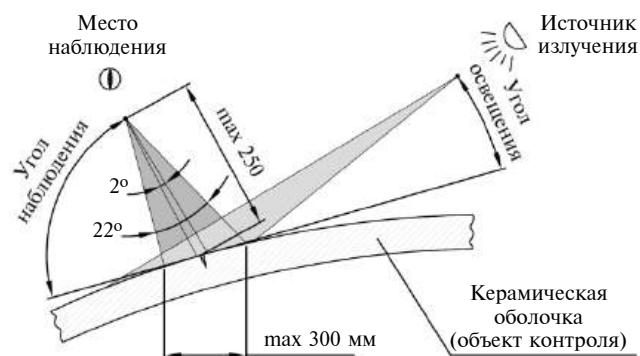


Рис. 4. Схема визуально-оптического контроля поверхности изделий из кварцевой керамики в отраженном излучении

Следует отметить, что при поле зрения глаза в 180° максимальная четкость человеческого зрения соответствует углу в 2° , поэтому подсвеченный участок лучше всего осматривать сканированием с небольшим шагом на расстоянии не более 250 мм [8].

Заключение

В результате исследования разработана методика визуально-оптического контроля изделий, изготовленных из кварцевой керамики, основанная на частичной прозрачности керамики в видимом оптическом спектре и анализе излучения прошедшего и отраженного через стенку изделия. Кроме того, были разработаны и созданы специальные технические средства, обеспечивающие реализацию созданной методики при контроле изделий из кварцевой керамики, имеющих различные габаритные размеры и форму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев И. С. Проектирование конструкций летательных аппаратов: учебник для студентов вузов. — М.: Машиностроение, 1991.
2. Архангельский И. И., Афанасьев П. П., Болотов Е. Г. и др. Проектирование зенитных управляемых ракет / под ред. Голубева И. С., Светлова В. Г. — М.: Изд-во МАИ, 2001.
3. Русин М. Ю. Проектирование головных обтекателей ракет из керамических и композиционных материалов: учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.
4. Суздальцев Е. И. Материалы антенных обтекателей // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2006. № 3. С. 18—29.
5. Русин М. Ю., Антонов В. В., Ромашин В. Г. / Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов: сб. тезисов XIX Междунар. науч.-техн. конф. — Обнинск. 2010. С. 78—80.
6. Бакунов В. С., Беляков А. В. Влияние структуры керамики на ее прочность // Неорганические материалы. 2002. Т. 38. № 4. С. 502—507.
7. Peterlik H. Relationship of Strength and Defects of Ceramic Materials and Their Treatment by Weibull Theory // J. Ceramic Society of Japan. 2001. V. 109. Iss. 1272. P. S121—S126.
8. Ключев В. В., Соснин Ф. Р., Филинов В. Н. и др. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник / под ред. Ключева В. В. — М.: Машиностроение. 1995.
9. Самойлович Г. С. Неразрушающий контроль металлов и изделий: справочник. — М.: Машиностроение, 1976.

DEVELOPMENT OF VISUAL AND OPTICAL METHOD OF CONTROL FOR PRODUCTS FROM QUARTZ CERAMICS

^{1, 2} D. V. Kharitonov, ¹ A. V. Terekhin, ¹ M. Yu. Rusin, ^{1, 2} A. A. Anashkina,

¹ M. S. Tychinskaya, ¹ A. I. Amosov, ¹ E. V. Maslova, ¹ M. E. Tipikin

¹ JSC "ORPE "Technologiya" named after A. G. Romashin, Obninsk, Kaluga Region, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

The method of visual and optical surface control of products from quartz ceramics on existence of defects based on effect of easing of intensity of a light stream when passing light through defect in structure of material is developed. The method allows to reveal not only surface, but also subsurface defects of material of various character: cracks, scratches, pores, blisters, inclusions.

Keywords: quartz glass ceramics, quality control, nondestructive testing, defect, crack, optical transparency.

Bibliography — 9 references.

Received July 15, 2021

УДК 681.3.06

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_34

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Д. В. Уланов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Рассмотрен концептуальный подход к оценке трудоёмкости проектирования изделий военной техники с использованием модифицированного математического аппарата метода PERT (Program Evaluation Review Technique). Предложен способ повышения точности оценки трудоёмкости проектирования изделий военной техники.

Ключевые слова: оценка, нормирование, военная техника, нормативы, трудоёмкость, аппаратура, государственный оборонный заказ, сетевое планирование, метод критического пути, PERT.

Современные образцы военной техники (ВТ) представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы. Кооперация головного исполнителя опытно-конструкторской работы по созданию образца ВТ зачастую включает десятки, а в ряде случаев — сотни предприятий-соисполнителей. Успешное выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию образца ВТ зависит от грамотного распределения финансовых и временных ресурсов и координации действий всех участников работы. Государственное регулирование цен на продукцию, предоставляемую по государственному оборонному заказу (ГОЗ), выделенные на реализацию Государственной программы вооружения лимиты бюджетных ассигнований, соответствие срока проектирования образца ВТ сроку исполнения ГОЗ предъявляют высокие требования к оценке стоимости проектирования ВТ, напрямую зависящей от времени, необходимого для выполнения ОКР. Анализ типовых отраслевых (межотраслевых) норм труда, утвержденных нормативными правовыми актами Российской Федерации и СССР [1], и отдельных локальных нормативных правовых актов (НПА) по нормированию труда, разработанных в организациях и предприятиях промышленности, показал, что рассмотренные отраслевые документы нуждаются в актуализации в связи с повсеместным внедрением новой техники, технологии разработки конструкторской и программной документации, а локальные НПА имеют привязку к условиям

труда и технологии разработки конструкторской и программной документации на конкретном предприятии и требуют адаптации и переработки для использования при оценке трудоёмкости проектирования изделий военной техники. Проблему корректного определения трудоёмкости проектирования ВТ может решить использование научно обоснованной методики оценки, учитывающей аспекты нормативного правового регулирования процесса создания военной техники.

Цель работы — обоснование возможности применения математического аппарата метода PERT при разработке метода определения трудоёмкости работ по созданию аппаратуры ВТ и обзор возможных способов повышения точности оценки трудоёмкости.

Краткая характеристика методики PERT

В 1958 г. Booz Allen Hamilton Inc. совместно с Lockheed Martin Corporation в целях реализации проекта UGM-27 "Polaris" по созданию двухступенчатой твердотопливной баллистической ракеты, предназначенной для размещения на атомных подводных лодках, была разработана методика оценки и анализа программ — Program Evaluation and Review Technique. Методика была разработана для определения плановой продолжительности реализации проекта в целом и отдельных его этапов [2].

В основе методики лежит тщательное изучение процесса реализации проектов в оборонно-промышленном комплексе. Отличительными чертами подобных проектов являются высокая сложность создаваемых изделий, большая длительность процесса разработки, масштабная кооперация исполнителей, высокие затраты на

Уланов Дмитрий Витальевич, преподаватель.
E-mail: ylanovdv@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22 сентября 2021 г.

© Уланов Д. В., 2021

планирование, контроль и управление проектом. В результате проведенного анализа установлено, что широко используемые в планировании диаграммы Ганта не позволяют в полном объеме отразить взаимосвязь между отдельными работами при реализации крупных проектов. Опыт проектной деятельности показывает, что наиболее точно взаимосвязь между отдельными работами при реализации сложных инженерных проектов отражают сетевые методы планирования, базирующиеся на теории графов. Проект (комплекс операций, необходимых для достижения цели) может быть представлен в виде сети — логической диаграммы, дуги которой представляют операции, а вершины — события. Времена выполнения операций предполагаются известными и приписываются дугам как неотрицательные величины. События интерпретируются как результат выполнения отдельных операций. После построения сети возникает задача определения времени реализации всего комплекса операций — проекта в целом. Время реализации проекта не может быть меньше суммы длительностей операций, взятой вдоль пути между начальным и конечным событиями, имеющими максимальную сумму длительностей операций. Такой путь называется критическим. В качестве примера расчета длительности проекта рассмотрим простейшую сеть, изображенную на рис. 1.

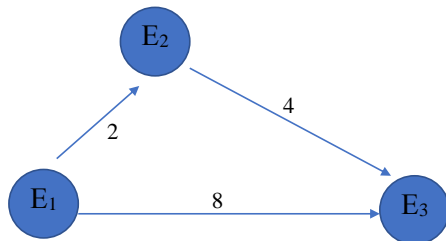


Рис. 1. Пример простейшей сети

Время наступления события E_1 примем равным нулю. Для каждой вершины сети рассмотрим дуги, которые в нее входят, для каждой из этих дуг сложим время операции, приписанной дуге с временем наступления события, соответствующего началу дуги. Сравнивая результаты и выбирая из них наибольший, приписываем его рассматриваемой вершине. Событие E_3 означает выполнение трех операций P_{12} , P_{13} , P_{23} . Длительность операции P_{12} — 2 единицы времени, P_{13} — 8 единиц времени, P_{23} — 4 единицы времени. Максимальную длительность при движении от события E_1 к E_3 имеет операция P_{13} . Длительность данной операции соответствует критическому пути. Таким образом, длительность проекта, представленного в виде сети на рис. 1 составит 8 единиц времени [3].

Определение длительности проекта сводится к вычислению критического пути. Данная задача решается, как правило, с помощью алгоритмов, основанных на теореме оптимальности из теории динамического программирования.

На практике при определении длительности отдельных операций возможно два варианта развития событий. В первом варианте операции не являются новыми и для каждой из них известен закон распределения длительности, во втором — распределение длительностей операций неизвестно. Во втором случае разработчики метода PERT предположили, что длительности операций имеют β -распределение, такое, что

$$E(t) = \bar{t} = \frac{1}{6}(A + 4M + B), \quad (1)$$

где A и B являются нижней и верхней границами случайной величины t ; M — наиболее вероятное значение t .

Дисперсия случайной величины определяется по формуле

$$\alpha_t^2 = \left[\frac{1}{6}(B - A) \right]^2. \quad (2)$$

На практике для определения нижней и верхней границ и наиболее вероятного значения случайной величины используется экспертная оценка минимальной длительности операции (оптимистичная оценка A), максимальной длительности операции (пессимистичная оценка B) и наиболее вероятной длительности операции (M). Длительность операции, используемая в методе PERT, рассчитывают по формуле (1).

Достоинства и недостатки PERT

К несомненным достоинствам метода PERT следует отнести возможность наглядного представления проекта в виде сетевого графика — динамической модели производственного процесса, отражающей технологическую зависимость и последовательность выполнения комплекса работ с учётом затрат временных ресурсов. Анализ сети позволяет оценивать риски проекта с выделением критических мест, грамотно распределять требующиеся для реализации проекта ресурсы. Простота применяемого математического аппарата и использование вероятностного подхода к оценке длительности отдельных работ, сложно поддающихся нормированию, также являются достоинствами методики.

К недостаткам метода следует отнести высокую зависимость от корректности экспертных оценок минимальной, максимальной и наиболее вероятной длительности операций, а также риск

возникновения погрешностей, вызванных допущением о распределении длительности операций и предположением о нормальности распределения случайной величины, определяющей длительность проекта [4]. Однако надо отметить, что влияние указанных недостатков можно минимизировать, используя результаты анализа плановых и фактических показателей длительности аналогичных операций за прошедшие периоды.

Концептуальный подход к оценке трудоемкости ОКР по созданию ВТ

Критически важное значение для государственного заказчика ГОЗ имеет рациональное распределение выделенных на реализацию ГОЗ финансовых и временных ресурсов для достижения максимальной оснащённости вооружением, военной и специальной техникой и обеспечения боевой эффективности вооруженных сил Российской Федерации. Финансовые показатели ГОЗ должны быть сбалансированы с показателями федерального бюджета по годам программного периода.

Таким образом, основными критериями при формировании позиции государственного заказчика ГОЗ в отношении оценки стоимости проектирования ВТ будут точность оценки трудоемкости проектирования с учетом выделенных лимитов бюджетных ассигнований и соответствие срока проектирования образца ВТ сроку выполнения ГОЗ.

При управлении проектами в оборонно-промышленном комплексе и проведении анализа производственных процессов широкое распространение получили сетевые методы планирования.

При создании образца военной техники и его составных частей в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.203 и ГОСТ РВ 15.208 подлежит разработке единый сквозной план (ЕСП) создания образца ВТ и его составных частей (СЧ), устанавливающий согласованный по срокам, затратам, организационным и техническим мероприятиям комплекс работ по созданию образца ВТ и его составных частей в соответствии с требованиями тактико-технического задания на выполнение опытно-конструкторской работы. Положения ГОСТ РВ 15.208 предусматривают отражение в ЕСП наряду с основными работами по созданию изделия ВТ и его СЧ сметной стоимости (**трудоемкости**) ОКР, СЧ ОКР или этапов ОКР. Единый сквозной план представляет собой достаточно простую модель ОКР, затраты на разработку которой несущественны по сравнению со стоимостью всей опытно-конструк-

торской работы, и в то же время достаточно мощную, чтобы учесть большинство факторов управления проектом.

В связи с обязательностью разработки единого сквозного плана для ОКР оборонного назначения представляется рациональным применить для оценки трудоемкости ОКР математический аппарат метода PERT. Актуальность этого решения обусловлена тем, что ЕСП ОКР может быть представлен в виде ориентированного упорядоченного графа, длительность критического пути в котором соответствует сумме длительностей P_{ij} соответствующих этапов ОКР (рис. 2).

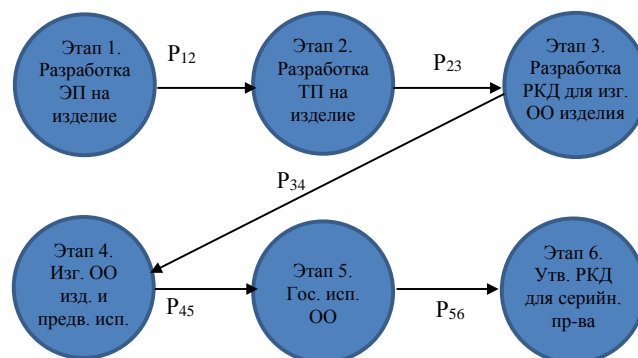


Рис. 2. ЕСП ОКР в виде графа

Это обстоятельство значительно экономит временные затраты руководителя проекта при проведении оценки длительности выполнения как ОКР в целом, так и отдельных ее этапов.

Предлагается длительность выполнения ОКР считать соответствующей трудоемкости ОКР в связи с тем, что трудоёмкость является показателем, характеризующим затраты труда, выраженные в часах рабочего времени на производство единицы продукции или работы. Использование математического аппарата метода PERT при оценке трудоемкости ОКР особенно удобно в связи с возможностью использования вероятностных оценок длительности отдельных работ. Как известно, продолжительность одних и тех же работ может варьироваться в определенном диапазоне под воздействием случайных факторов, изменений в условиях проведения работы. Даже такие работы, как операции металлообработки, имеют колебания длительности, вызываемые различиями в характеристиках оборудования, обрабатываемого материала, навыках оператора. Эти колебания незначительны, и в большинстве случаев ими можно пренебречь. Это делает возможным использование статистических методов нормирования (хронометраж) времени выполнения операций.

Использование заимствованных из практики серийного производства статистических методов для оценки длительности опытно-конструкторских работ не позволяет объективно подойти к оценке трудоёмкости работ. Характерными для ОКР являются работы с высокой степенью неопределенности, особенно на первоначальных этапах, таких, как эскизный и технический проект. Неопределенность зависит от ряда факторов, таких, как степень проработки теоретического базиса выполняемой работы, наличие опыта решения аналогичных задач и т. д.

Игнорирование данной особенности ОКР приводит к необъективной оценке трудозатрат, требующихся для ее выполнения, и создает предпосылки к срыву сроков выполнения ГОЗ еще на первоначальном этапе выполнения ОКР.

Использование вероятностного подхода к определению трудоёмкости выполнения ОКР и её отдельных этапов позволяет учесть неопределенность длительности работ за счет использования в методе PERT для каждой работы не одной, а трёх оценок длительности (оптимистической, наиболее вероятной и пессимистической), и выработки на их основе объективной трудоёмкости работы, которая может быть использована при планировании.

Как уже было показано, метод PERT имеет ряд недостатков, связанных с зависимостью от корректности экспертных оценок длительности работ и погрешностей, вызванных допущением о распределении длительности операций и предположением о нормальности распределения случайной величины, определяющей длительность проекта. Для минимизации влияния указанных недостатков при оценке трудоёмкости выполнения ОКР предлагается модифицировать математический аппарат метода, введя в качестве наиболее вероятной оценки длительность работы, рассчитанную с использованием результатов анализа фактических показателей трудоёмкости аналогичных работ за прошедшие периоды.

Для расчета наиболее вероятной оценки длительности выполнения ОКР или отдельных её этапов следует подобрать аналог из числа ранее разработанных изделий ВТ, трудоёмкости выполнения работ по которым известны. Рациональным решением будет использование данных анализа фактических затрат разработчика соответствующей ОКР, проведенного военным представительством МО РФ при оформлении заключения о цене военной продукции. Длительность аналогичных операций следует определять с учетом функциональных особенностей разрабатываемого изделия. Проведенный анализ опытно-

конструкторских работ по созданию ВТ в приборостроительной отрасли позволил выделить из доступных для анализа характеристик разработанных образцов ВТ ряд значимых признаков. Для опытно-конструкторской работы по созданию аппаратуры ВТ известны:

- значение трудоёмкости разработки отдельных этапов ОКР (при отсутствии конкретного значения трудоёмкости вычисляется обратным счетом через себестоимость разработки и стоимость чел. ч);
- перечень источников информации (датчиков и сигнализаторов), перечень сигналов, задаваемых оператором;
- перечень управляемой аппаратуры (клапана, насосы, механизмы), перечень параметров, выводимых на пользовательский экран;
- перечень КД и ПО, которая подлежит заимствованию (Е1), либо наличие требования в техническом задании об уровне унификации (со значением коэффициентов межпроектной унификации и т. д.)

Для того чтобы учесть отличия разрабатываемого изделия от изделия-аналога, следует воспользоваться зависимостью

$$M = T_{\text{ан}} k_3 N, \quad (3)$$

где M — наиболее вероятная длительность разрабатываемого проекта;

$T_{\text{ан}}$ — длительность разработки проекта-аналога;

k_3 — коэффициент заимствования (относительная величина, определяемая разницей между 1 и отношением процента заимствования в новой разработке КД и (ПО)ПД аналога к 100 %);

N — коэффициент масштабирования, который определяется по формуле

$$N = \frac{m_p + n_p}{m_{\text{ан}} + n_{\text{ан}}}, \quad (4)$$

где m_p , $m_{\text{ан}}$ — число исходных параметров разрабатываемого изделия и аналога; под числом исходных параметров понимается количество параметров, контролируемых аппаратурой на объектах управления, вводимых оператором, и/или входные сигналы от смежной аппаратуры (исключая сигналы самодиагностики); для аппаратуры электропитания или аппаратуры централизованного питания — число фидеров сигнализации;

n_p , $n_{\text{ан}}$ — число выходных параметров разрабатываемого изделия и аналога; под числом выходных параметров следует понимать количе-

ство управляемых аппаратурой приборов, устройств, количество управляющих сигналов или количество контролируемых параметров, выводимых на пользовательский экран (для систем информационной поддержки); для аппаратуры электропитания или систем централизованного питания — число силовых фидеров [5].

С учетом изложенного формула (1) метода PERT принимает следующую форму, предназначенную для оценки трудоемкости выполнения ОКР или отдельных этапов ОКР по созданию изделия ВТ:

$$E = \frac{1}{6} \left(A + 4 T_{\text{ан}} k_3 \frac{m_p + n_p}{m_{\text{ан}} + n_{\text{ан}}} + B \right), \quad (5)$$

где E — значение трудоемкости ОКР (этапа ОКР);

A и B — оптимистическая и пессимистическая оценки трудоемкости ОКР, определяемые экспертным путем.

Использование модифицированного математического аппарата обладает всеми достоинствами метода PERT и лишено такого недостатка метода, как зависимость от корректности экспертной оценки наиболее вероятной длительности операций.

Заключение

Предложен концептуальный подход к оценке трудоемкости ОКР по созданию изделий ВТ, базирующийся на модифицированном математическом аппарате метода PERT. Использование в качестве наиболее вероятной оценки длительности работы, рассчитанной с использованием статистических данных о фактических показателях трудоемкости аналогичных работ, предполагает повышение точности оценки. Рассмотренный подход позволяет учесть большинство факторов управления проектом, повысить точность планирования, грамотно распределить финансовые и временные ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перечень типовых отраслевых (межотраслевых) норм труда, утвержденных нормативными правовыми актами Российской Федерации и СССР [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mintrud.gov.ru/ministry/programms/norma_truda/docs/docs_books
2. **Голенко Д. И.** Статистические методы сетевого планирования и управления. — М.: Наука, 1968. — 400 с.
3. **Кофман А. И.** Сетевые методы планирования. Применение системы ПЕРТ и ее разновидностей при управлении производственными и научно-исследовательскими проектами. — М.: Прогресс, 1967. — 816 с.
4. **Олейникова С. А.** Обобщение метода для оценки длительности работ в задачах сетевого планирования и управления // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 4. № 11. С. 18—21.
5. Укрупненные нормативы трудоёмкости выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий Общества. Н ДАИЕ. 195-2018. — СПб: АО "Концерн "НПО "Аврора", 2018.

A CONCEPTUAL APPROACH OF LABOR COST ESTIMATION IN THE DESIGN OF ARMAMENT EQUIPMENT

D. V. Ulanov

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

This article discusses about a conceptual approach to estimating the complexity of designing military equipment products using a modified mathematical apparatus of the PERT (Program Evaluation Review Technique) method is considered. A method for increasing the accuracy of estimating the complexity of designing military equipment products is proposed.

Keywords: estimation, rationing, military equipment, standards, labor intensity, equipment, state defense order, network planning, critical path method, PERT.

Bibliography — 5 references.

Received September, 22, 2021

УДК 004:007:355:51-7:519.6:519.2:62
DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_39

О КЛАСТЕРИЗАЦИИ БИОНИЧЕСКИХ РОБОТОВ ПО ИХ ФУНКЦИОНАЛУ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К. В. Пителинский, канд. техн. наук; Н. В. Федоров, канд. техн. наук;
С. О. Маковей; М. П. Сигида
ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

Рассмотрены и изучены некоторые способы машинного обучения моделей. Проведен сравнительный анализ используемых методов кластеризации исследуемых объектов (на примере зарубежных бионических роботов). Получены результаты кластеризации их функциональных характеристик, позволяющие определить наиболее приоритетные с практической точки зрения алгоритмы классификации данной техники.

Ключевые слова: робототехника, бионические принципы движения, метод анализа иерархий, методы машинного обучения, классификация, кластеризация.

Можно выделить много способов кластеризовать объекты (в нашем случае — бионическую робототехнику) в связи с их большим разнообразием. Рассмотрим способы кластеризации, основанные на применении искусственного интеллекта, а точнее алгоритмов машинного обучения.

Принято выделять сильный и слабый искусственный интеллект. Под слабым искусственным интеллектом понимают обучающиеся системы, хорошо решающие отдельные задачи. Все основные достижения в области искусственного интеллекта относятся именно к слабому искусственному интеллекту. Примеры слабого искусственного интеллекта — системы автоматического перевода, системы распознавания образов и иные сложные, но направленные на решение одной практической задачи системы (обычно

при машинном обучении, имеют в виду слабый искусственный интеллект).

Машинное обучение как подобласть искусственного интеллекта является сложным понятием: его методы и алгоритмы постоянно меняются и прогрессируют, из-за чего само определение данной области динамично. На взгляд авторов, самое верное определение дал Артур Самуэль: "машинное обучение — область исследования, которая дает компьютерам возможность учиться без явного программирования".

Под машинным обучением понимают прецедентное обучение, т. е. для конечного множества прецедентов (ситуаций или объектов) по каждому из них получены данные. Все имеющиеся описания прецедентов *in massa* называют обучающей выборкой. По этим частным данным выявляют общие связи и закономерности, присущие не только этой конкретной выборке, но и вообще всем прецедентам (и тем, которые не наблюдались). Смысл кластеризации — сгруппировать объекты в кластеры по данным о попарном сходстве объектов. Критериями качества может быть, например, отношение средних межкластерных и внутрикластерных расстояний.

Для точной и корректной кластеризации надо выделить признак или группу признаков (как общеприменимых к любым роботизированным аппаратам, так и применимых только к узкоспециализированной технике) для бионических роботов, по которым и будет производиться их сравнение.

Продолжает оставаться актуальной проблема, связанная с тем, по каким именно признакам будут строиться модели машинного обучения и,

Пителинский Кирилл Владимирович, доцент, МВА, доцент кафедры "Информационная безопасность".
E-mail: yekadath@gmail.com

Федоров Николай Владимирович, доцент, заведующий кафедрой "Информационная безопасность".
E-mail: fedorovnv31@mail.ru

Маковей Сергей Олегович, студент кафедры "Информационная безопасность".
E-mail: sergej.magistr98@mail.ru

Сигида Максим Павлович, студент кафедры "Информационная безопасность".
E-mail: maxsigi@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 8 апреля 2021 г.

© Пителинский К. В., Федоров Н. В., Маковей С. О., Сигида М. П., 2021

как следствие, как будут формироваться кластеры. Для возможности построения проектного гиперпространства необходимы признаки (т. е. некоторые присущие всем объектам свойства, например масса). Признаки должны быть максимально полезны при построении модели. При этом уяснить значимость вклада выделенного признака в итоговый результат моделирования возможно, только обучив модель. Далее отметим способы выделения признаков объектов в моделях машинного обучения.

Ручное выделение признаков и их группировка в таблицу весьма сложно из-за выделения широкого списка признаков, присущих всем объектам, и отсутствия гарантии того, что не появятся новые аппараты с признаками отличными от нынешних (все обученные модели и собранные данные могут не сработать в новых условиях).

Выделение признаков на основе фотографий роботизированных аппаратов. Данный способ лишен недостатков табличного метода, но его недостаток — малая интерпретируемость разделения на кластеры. Это означает, что в одном кластере будут абсолютно разные аппараты по субъективному мнению лица, принимающего решения (ЛПР), или системного аналитика (например, роботизированные акула и аист). Если пары роботов рассматривать отдельно, то сразу видны их различия, но при рассмотрении множества роботов помимо них в гиперпространстве между такими двумя (как бы разными) аппаратами может оказаться очень много общих черт (относительно множества прочих схожих аппаратов).

При классификации новой разработки или робота, который изначально не был отнесен к какому-либо кластеру, системный аналитик не сможет сделать это без модели. Здесь нужно как минимум знать границы кластеров в гиперпространстве и занести в гиперпространство новый объект, задающий подлежащий классификации аппарат. Это сильно затрудняет массовую и самостоятельную классификацию.

По мере использования и классификации все большего количества бионических роботов возникнет проблема применения выбранного способа классификации. Высока вероятность того, что первая построенная модель не дообучилась на данных, которые с ее помощью начинают классифицировать (например, при обучении было мало примеров по сравнению с нынешним временем или произошли изменения в технологиях, отчего роботы сильно отличаются от тех, по которым была ранее построена модель). Возникает потребность в новой модели, что ведет к выделению новых кластеров или изменению

границ старых. Частоту и необходимость обучения новой модели нужно оценивать по уровню необходимости и оправданности (иногда корректная модель при обучении на большем объеме данных может переучиться и будет хуже классифицировать, чем ранее).

Области применения имитационного моделирования и метода Саати

Имитационное моделирование применимо для решения практических задач сложной структуры. Данное моделирование позволяет интерактивно строить модель (изменяя ее через добавление новых или исключение ее элементов и (или) взаимосвязей между ними) [1]. По такой модели можно проводить исследования и конструктивные доработки техники без риска попадания технологий в руки противника или потери персонала и оборудования.

Очень часто в сложных задачах возникает затруднение в принятии окончательного решения, поскольку ЛПР вначале надо разобрать составную организацию взаимосвязанных элементов (объектов). Рассматриваемый метод (метод Томаса Саати или анализа иерархий) дает возможность ЛПР выделить определенную задачу, далее методом прогнозирования возможных итогов составить мнение, структурировать рассматриваемые объекты в виде иерархии и в конечном счете соединить групповые мнения в соответствии с главным критерием. Критерии представляют собой совокупность факторов разного типа и степени значимости, позволяющих определить вероятность или невозможность выбора одной из альтернатив, которые в структуре иерархии указаны в нижнем уровне приоритетов [2]. Рассмотрим данный метод на примере роботизированных прототипов, имеющих схожие параметры. Основные характеристики роботов сведены по методу Т. Саати [3, 4] в табл. 1.

Таблица 1

Функциональные характеристики робота

№	Характеристика	Значение
1	Скорость	Важно
2	Принципы движения	Важно
3	Место назначения (деятельности)	Важно
4	Статус разработки	Важно
5	Вес	Не важно
6	Число конечностей	Не важно
7	Цена	Не важно
8	Производитель	Не важно

Далее опишем роботов по выбранным характеристикам. В качестве примера были выбраны следующие образцы: C-Turtle, BigDog, Cheetah и Nara-Tartaruga (табл. 2—5).

Таблица 2

Функциональные характеристики робота-черепахи C-Turtle [5]

№	Характеристика	Значение
1	Скорость	0,05 м/с
2	Принципы движения	Механические конечности
3	Место назначения (деятельности)	Земля
4	Статус разработки	В разработке
5	Вес	Около 600 г
6	Число конечностей	2
7	Цена	80 долл.
8	Производитель	Инженеры из Аризоны

Таблица 3

Функциональные характеристики BigDog [6]

№	Характеристика	Значение
1	Скорость	6,5 км/ч
2	Принципы движения	Механические конечности
3	Место назначения (деятельности)	Земля
4	Статус разработки	Заброшен
5	Вес	Около 109 кг
6	Число конечностей	4
7	Цена	Не указана
8	Производитель	Boston Dynamics

Таблица 4

Функциональные характеристики робота-гепарда Cheetah [7]

№	Характеристика	Значение
1	Скорость	29 км/ч
2	Принципы движения	Механические конечности
3	Место назначения (деятельности)	Земля
4	Статус разработки	В разработке
5	Вес	Около 9 кг
6	Число конечностей	4
7	Цена	Не указана
8	Производитель	Boston Dynamics

Таблица 5

Функциональные характеристики Nara-Tartaruga [8]

№	Характеристика	Значение
1	Скорость	7 км/ч
2	Принципы движения	Радиоуправление
3	Место назначения (деятельности)	Вода
4	Статус разработки	В разработке
5	Вес	75 кг
6	Число конечностей	2
7	Цена	Не указана
8	Производитель	ETH Zurich

Основные характеристики роботов: скорость, принципы движения, место назначения (деятельности), статус разработки (см. рис. 1, табл. 6—9).

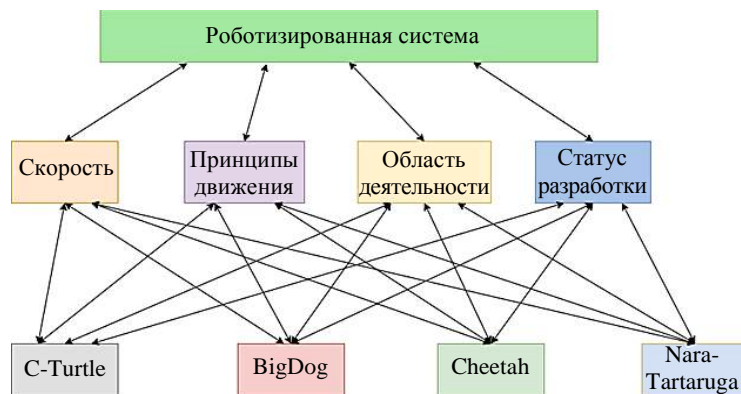


Рис. 1. Построение дерева альтернатив

Таблица 6

Матрица попарных сравнений критериев

Критерии	Скорость	Принципы движения	Область деятельности	Статус
Скорость	1	1	1/5	1/7
Принципы движения	1	1	1/5	1/4
Область деятельности	5	5	1	1/2
Статус	7	4	2	1
Сумма	14	11	3.4	1,89

Таблица 7

Среднее арифметическое значение показателей

A_{ij}	Скорость	Принципы движения	Область деятельности	Статус	Среднее значение
Скорость	0,07	0,09	0,05	0,07	0,28
Принципы движения	0,07	0,09	0,05	0,13	0,34
Область деятельности	0,35	0,45	0,29	0,26	1,35
Статус	0,5	0,36	0,59	0,53	1,98

Таблица 8

Геометрическое среднее значений показателей

A_{ij}	Произведение	$\sqrt[4]{}$ из произведения
Скорость	0,029	0,411
Принципы движения	0,05	0,473
Область деятельности	12,5	1,88
Статус	56	2,735
Сумма		5,499

Таблица 9

Нахождение локальных векторов приоритетов

A_{ij}	Скорость	Принципы движения	Область деятельности	Статус	Локальный вектор
Скорость	1	1	1/5	1/7	0,075
Принципы движения	1	1	1/5	1/4	0,086
Область деятельности	5	5	1	1/2	0,342
Статус	7	4	2	1	0,497
Сумма	14	11	3,4	1,89	

Можно сделать промежуточный вывод: наиболее весом критерий "статус" наличия роботизированного прототипа, а критерий "скорость" имеет наименьший коэффициент. (табл. 10—19).

Таблица 10

Матрица попарных сравнений критерия "скорость"

Скорость	C-Turtle	BigDog	Cheetah	Nara-Tartaruga
C-Turtle	1	1/8	1/9	1/7
BigDog	8	1	1/8	1/2
Cheetah	9	8	1	9
Nara-Tartaruga	7	2	1/9	1

Таблица 11

Сумма элементов и среднее арифметическое критерия "скорость"

Скорость	Сумма	Среднее значение
C-Turtle	25	0,14
BigDog	11,125	0,55
Cheetah	1,346	2,66
Nara-Tartaruga	10,64	0,63

Таблица 12

Матрица попарных сравнений критерия "принципы движения"

Принцип движения	C-Turtle	BigDog	Cheetah	Nara-Tartaruga
C-Turtle	1	1/9	1/9	1/7
BigDog	9	1	5	3
Cheetah	9	1/5	1	9
Nara-Tartaruga	7	1/3	1/9	1

Таблица 13

Сумма элементов и среднее арифметическое критерия "принципы движения"

Принцип движения	Сумма	Среднее значение
C-Turtle	26	0,14
BigDog	1,64	1,99
Cheetah	6,22	1,31
Nara-Tartaruga	13,14	0,56

Таблица 14

Матрица попарных сравнений критерия "область деятельности"

Область деятельности	C-Turtle	BigDog	Cheetah	Nara-Tartaruga
C-Turtle	1	1	1	1/9
BigDog	1	1	1	1/9
Cheetah	1	1	1	1/9
Nara-Tartaruga	9	9	9	1

Таблица 15

Сумма элементов и среднее арифметическое критерия "область деятельности"

Область деятельности	Сумма	Среднее значение
C-Turtle	12	0,32
BigDog	12	0,32
Cheetah	12	0,32
Nara-Tartaruga	1,33	3

Таблица 16

Матрица попарных сравнений критерия "статус"

Статус	C-Turtle	BigDog	Cheetah	Nara-Tartaruga
C-Turtle	1	9	1/2	1
BigDog	1/9	1	1/9	1/9
Cheetah	2	9	1	7
Nara-Tartaruga	1	9	1/7	1

Таблица 17

Сумма элементов и среднее арифметическое для критерия "статус"

Статус	Сумма	Среднее значение
C-Turtle	4,11	0,95
BigDog	28	0,14
Cheetah	1,75	2,15
Nara-Tartaruga	9,11	0,75

Таблица 18

Вектор весов **b**

Критерий	Значение
Скорость	0,28
Принцип движения	0,34
Область деятельности	1,35
Статус	1,98

Таблица 19

Матрица весов альтернатив по каждому критерию **A**

Критерии	Скорость	Принцип движения	Область деятельности	Статус
C-Turtle	0,14	0,14	0,32	0,95
BigDog	0,55	1,99	0,32	0,14
Cheetah	2,66	1,31	0,32	2,15
Nara-Tartaruga	0,63	0,56	3	0,75

Чтобы получить вектор весов альтернатив, необходимо перемножить **A** и **b**:

$$\begin{array}{cccccc}
 0,14 & 0,14 & 0,32 & 0,95 & 0,28 & 2,40 \\
 0,55 & 1,99 & 0,32 & 0,14 & 0,34 & 1,52 \\
 2,66 & 1,31 & 0,32 & 2,15 & 1,35 & 5,88 \\
 0,63 & 0,56 & 3 & 0,75 & 1,98 & 5,90
 \end{array}$$

Ab = c или

По результатам вычислений вектора **c** видно, что наиболее приоритетным прототипом является робот Nara-Tartaruga, но, справедливости ради, стоит отметить достаточно небольшую разницу с прототипом робота Cheetah. Наивысший приоритет Nara-Tartaruga получает за счет области деятельности, поскольку функционирование робота предполагается в водной среде, что в

сравнении с остальными данными образцами, назначение которых ограничено целями сугубо на поверхности земли, характеризуется более сложными и неблагоприятными условиями.

Для того чтобы оценить качество установленного мнения эксперта, следует определить отношение согласованности, вычисляемое в соответствии со следующей формулой:

$$ОС = ИС/СС,$$

где индекс согласованности $ИС = |\lambda_{\max} - n|/(n - 1)$;

n — порядок матрицы;

СС — случайная согласованность СС зависит от размерности матрицы, значения для которых представлены в табл. 20.

Таблица 20

Случайная согласованность

Размерность матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8
СС	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

Найдем λ_{\max} (см. табл. 9);

$$\lambda_{\max} = (14 \cdot 0,075) + (11 \cdot 0,086) + (3 \cdot 4 \cdot 0,342) + (1 \cdot 89 \cdot 0,497) = 4,098;$$

$n = 4$ (из табл. 20);

$$ИС = |\lambda_{\max} - n|/(n - 1) = |4,098 - 4|/(4 - 1) = 0,033;$$

СС = 0,9;

$$ОС = 0,033/0,9 = 0,036 \leq 0,1.$$

Допустимость оценок эксперта проверена и признана адекватной. Следовательно, полученные экспертные оценки являются достоверными и практически приемлемыми. Проверим полученные значения с помощью программы анализа иерархий методом Саати (версия 0.6.0) [2]. Окно программы анализа иерархий по методу Саати представлено на рис. 2.

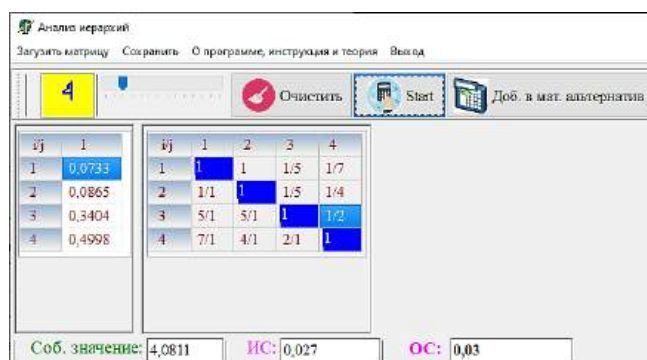


Рис. 2. Окно программы анализа иерархий по методу Саати

Авторы считают, что метод анализа иерархий подходит для практического использования при

сравнении образцов техники, но если учитывать и особенности метода (нет средств проверки достоверности данных, отсутствуют средства интерпретации уровней иерархии, отчего ЛПР должен делать самостоятельный вывод о возможных решениях [9]), то процесс разбиения объектов на кластеры (однородные наборы) займет достаточно продолжительное время (если не использовать специализированное программное обеспечение, алгоритмически реализующее метод Саати).

Классификация моделей

Обобщенно все модели без связи с областями и сферами их приложений бывают трех видов:

- *инструментальная модель* — среда или средство построения, исследования и/или использования прагматических и/или познавательных моделей;

- *познавательная модель* — форма организации и задания знаний, а также средство интеграции знаний (адаптируется под реальность и является теоретической моделью);

- *прагматическая модель* — средство организации практических действий и рабочего представления целей системы для ее управления (реальность адаптируется под эмпирическую модель — прикладные модели).

Прагматические модели отражают не существующие, но желаемые и, возможно, реализуемые связи в системе (в отличие от познавательных моделей). Классификация моделей ведется также и другими способами [10].

По данным сайта Global Conflict Tracker [11], на первое января 2021 г. в мире происходит около 25 глобальных конфликтов, причем девять из них носят легкую фазу (т. е. несмотря на напряжение между сторонами конфликта, боевые действия отсутствуют). Такая ситуация особенно присуща африканским странам: Мали, Центральной Африканской Республике и Демократической Республике Конго (где после обострения локальных конфликтов присутствует миссия ООН, что минимизирует интенсивность военных действий, замораживает сам конфликт и противостояние сторон). Другие конфликты, например споры КНР в Южно-Китайском море, не переходят в столкновения и акты агрессии, а носят характер подготовительных действий к возможному военному обострению в регионе.

Однако все равно сохраняются конфликты, в которых с разной периодичностью происходят боевые действия. Как правило, это локальные (обычно вялотекущие) столкновения без массо-

вых потерь воюющих сторон: борьба с наркокартелями в Мексике; война в Украине и в Афганистане; гражданская война в Сирии и в Ираке; конфликт в Секторе Газа; антитеррористическая операция в Нигерии и т. д.

Видно, что разработка военных технологий не потеряла своей актуальности и на текущий момент времени, отчего ввиду масштабной и успешной цифровизации общества, охватившей все сферы деятельности человека, военная робототехника является прикладным примером развития данного направления в армии. Пока технологии бионических военных роботов находятся в стадии активного развития и их применение в настоящих боевых условиях не носит массовой характер. Как правило, их используют локально для узкоспециализированных задач, таких, как разведка с воздуха.

Проверка работоспособности робототехники в условиях реального боя и возможности выполнения ею более сложных и опасных задач затруднена рядом факторов:

- малое количество интенсивных военных конфликтов;
- невозможность по дипломатическим причинам прямо участвовать в конфликте;
- большой риск захвата робота и, как возможное следствие, технологии противником;
- большие риски для людей, которые занимаются разработкой и отладкой роботов.

Ввиду этих ограничений появляется острая необходимость в разработке имитационной модели, способной описать и обчислить максимально схожие с боевыми условия и задачи. По такой модели можно проводить исследования и доработки техники без опасения потери персонала, оборудования или попадания технологий к противнику.

Процесс моделирования начинают с определения цели разработки самой модели, по которой затем требуется очертить границы системы и указать должный уровень детализации моделируемых процессов. Уровень детализации должен позволять абстрагироваться от неточно определенных (связанных с нехваткой информации) аспектов функционирования реальной системы. Должны быть перечислены критерии эффективности ее функционирования, оцениваемые альтернативные решения (которые могут трактоваться как части модели или как ее входы). Оценки альтернативных решений по заданным критериям эффективности рассматриваются как выходы модели. После того как на основе полученных оценок альтернатив даны рекомендации, переходят к внедрению результатов моделирования. При этом в рекомендациях должны быть

четко указаны как основные решения, так и условия их реализации [12].

Главной особенностью боевого робота является его способность к быстрым анализу и корректировке окружающей обстановки и состояния его внутренних систем и способность учитывать свой вклад в динамику боя. Итогом эволюции таких роботов, вероятно, станет создание системы искусственного интеллекта, интегрированного в деятельность робота.

Решение задачи кластеризации принципиально неоднозначно из-за того, что:

- все алгоритмы могут давать разные результаты;
- нет оптимального критерия качества кластеризации: есть ряд алгоритмов и эвристик, не имеющих явного критерия качества, но по построению дающих годную кластеризацию;
- оценка результата кластеризации сильно зависит от метрики, выбранной экспертом;
- результат кластеризации зависит от предобработки данных, выбор которых может быть затруднен или субъективен;
- число кластеров не известно заранее и задается субъективно.

Для наглядного представления сложности автоматической кластеризации с помощью алгоритмов машинного обучения проведем на отобранных вручную признаках кластеризацию рассмотренных ранее роботов. Выбор такой методологии связан с отсутствием достаточного фото- или видеоматериала по каждому из роботов (для их кластеризации по изображению). Также подобные исследования ранее не проводили, отчего нет возможности использовать заранее определенные и испытанные при обучении моделей признаки.

Данная кластеризация проводилась без генерации искусственных признаков, тщательного подбора алгоритма и его гиперпараметров. Главным образом, это связано с малым числом объектов и со скудностью конкретных данных о приведенных роботах. Выполненная автоматическая кластеризация не является главной целью статьи, отчего она и является достаточно простой. Исследование было проведено программным кодом на языке программирования Python 3.0. Для построения и отображения графиков использована библиотека Matplotlib. Из библиотеки Sklearn были использованы алгоритмы прекодирования признаков (LabelBinarizer), изменения размерности гиперпространства (TSNE) и алгоритмы кластеризации (SpectralClustering, KMeans и DBSCAN). Также использовались библиотеки Pandas и Numpy. Весь код исследования и данные для возможности его воспроизведения можно найти на GitHub авторов [13].

Весь ход работы по выделению кластеров на основе решений алгоритмов машинного обучения можно разделить на ряд последовательных этапов:

- сбор данных и выделение на их основе признаков;
- предобработка данных;
- выбор алгоритма обучения и гиперпараметров;
- процесс обучения на собранных данных;
- изучение возможных ошибок и аномалий.

Для любого алгоритма кластеризации нужны общие для всей выборки признаки. Именно они и будут использоваться для оценки схожести объектов между собой. Исходя из этой оценки по заданному алгоритму будут сформированы кластеры с наиболее похожими между собой объектами.

Выделенные признаки должны быть свойственны как можно большему числу объектов. Так, например, признак способности робота произносить человеческие реплики на естественном языке будет плохим признаком. Это связано с тем, что по большинству роботов нет информации о данной способности. Вполне допустимо, что их можно снабдить подобной функцией, но т. к. она не способствует решению целевых задач роботов, она отсутствует.

Приведенный ранее пример с признаком человеческой речи показывает еще одну проблему, которая может появиться при ручном выделении

признаков. Свойство человеческой речи будет с большой вероятностью соответствовать роботам, основанным на антропоморфном строении. Роботы же, использующие морфологию других живых организмов, например рыбы, будут с большой вероятностью лишены данного свойства. Таким образом, если взять признак, связанный с антропоморфным строением робота и признак наличия человеческой речи, то окажется что они могут друг друга полностью дублировать. Поэтому использовать оба этих признака одновременно — очень неэффективная задача (они фактически взаимозаменяемы).

Основываясь на таких базовых принципах определения признаков, авторы выделили девять признаков, причем четыре из них являются категориальными (т. е. включают в себя несколько возможных вариантов). В дальнейшем признаки потребуют преобразования: многие методы машинного обучения не способны работать с именно таким видом признаков. Другие четыре признака являются числовыми. Ввиду этого объекты могут быть легко сравнены между собой по любому из этих признаков. Последний признак является бинарным: он имеет только два состояния, присутствие или отсутствие у конкретного объекта некоего свойства (табл. 21).

На рис. 3 даны первые пять объектов из полученной структурированной табл. 21.

Таблица 21

Пример структуры

Название	Тип	Пример значения поля	Описание
Производитель	Категориальный	"Robosea"	Главная компания, организация, государственная структура принимавшая участие в разработке и создании робота
Страна	Категориальный	"США"	Страна, где находится изготовитель и где велись основные разработки
Год	Числовой	2020	Год последнего официального изменения или модернизации робота
Масса	Числовой	82	Масса робота, кг
Скорость	Числовой	5	Максимальная скорость передвижения робота в пространстве
Длина	Числовой	1,8	Наибольший габарит робота (ширина или длина), м
Зона действия	Категориальный	"Земля"	Местность или условия, для работы в которых робот предназначен
Животное	Категориальный	"Черепаха"	Живой организм, прототип робота
Завершен	Бинарный	1	Является ли проект закрытым или завершенным на момент составления таблицы

	название	производитель	страна	год	масса(кг)	скорость(км/ч)	длина(м)	зона_действия	животное	завершен
0	SmartBird	Festo's Bionic Learning Network	Германия	2011	0.48500	NaN	NaN	воздух	чайка	1
1	BionicSwift	Festo's Bionic Learning Network	Германия	2020	0.04200	NaN	0.445	воздух	ласточка	0
2	BionicOpter	Festo's Bionic Learning Network	Германия	2013	0.17500	NaN	0.460	воздух	стрекоза	1
3	eMotionButterflies	Festo's Bionic Learning Network	Германия	2015	0.03200	9.00	0.500	воздух	бабочка	1
4	BionicFlyingFox	Festo's Bionic Learning Network	Германия	2018	0.58000	NaN	2.280	воздух	летучая мышь	1
5	Aves	Drone Bird Company	Нидерланды	2020	NaN	43.20	2.500	воздух	чайка	1

Рис. 3. Первые объекты структурированной таблицы

Следующий этап — предобработка данных, куда входят все операции, целью которых является изменение имеющихся данных.

К таким действиям можно отнести:

- кодирование значений признаков в целях улучшения работы алгоритма с ними;
- избавление от пустых значений в данных;
- генерацию новых признаков по имеющимся;
- нормализацию данных;
- "чистку данных" (т. е. избавление от выбросов, шумовых признаков и т. д.).

Проведенная предобработка данных включала в себя только те операции, которые являются необходимыми для обеспечения возможности работы алгоритма с данными (здесь это было избавление от пустых значений и замена категориальных признаков на числовые). Данное обстоятельство связано с тем, что целью авторов на данном этапе являлось оценить саму возможность автоматической кластеризации, отчего избыточное отведение времени на предобработку было излишним. Отсутствующие значения, которые встречаются только в числовых признаках, были заменены на значение -1. Такой вариант более предпочтителен по сравнению с медианой или средним ввиду очень малого размера самой выборки. Из категориальных признаков категориальным методом кодирования One Hot были получены бинарные признаки, что привело к увеличению количества признаков до 63.

После проведенной предобработки данных можно отобразить объекты в гиперпространство, где каждая плоскость является конкретным признаком этих данных. Из-за большой многомерности пространства нельзя отобразить это множество на него без изменений. Поэтому был использован алгоритм нелинейного понижения размерности и визуализации многомерных переменных (TSNE), снижающий размерность до определенного количества плоскостей (здесь данные отображены на двумерной плоскости; см. рис. 4).

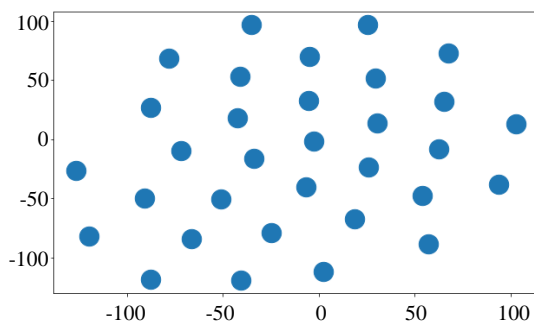


Рис. 4. Представление данных на двумерной плоскости

Каждая точка на графике является одним из роботов. Координаты каждой точки получены алгоритмом по групповым значениям всех признаков. Видно, что на плоскости нет явно выделенных кластеров, что может быть связано главным образом с малым количеством признаков. Далее приведены результаты кластеризации данных объектов с помощью нескольких алгоритмов.

При выборе алгоритмов надо оценить, какой результат является приемлемым для системного анализа относительно количества полученных кластеров. Роботы как объекты являются достаточно сложными техническими системами, отчего различие между каждой случайно выбранной их парой довольно велико. Одновременно с этим нет обоснованной оценки для оптимального числа кластеров. Некоторые алгоритмы кластеризации позволяют провести разбивку объектов на заданное количество кластеров, что допускает распараллеливание вычислительного процесса при разном количестве кластеров (с последующим их изучением и с определением оптимального их числа). Однако этот метод нельзя назвать автоматическим. В итоге он ведет к ручному изучению кластеров и, соответственно, к ручному их определению.

Одним из способов автоматического выделения количества кластеров может служить алгоритм кластеризации, который сам определяет оптимальное число кластеров. При работе подобного алгоритма для рассмотренных данных субъективно можно ожидать большое количество кластеров. Однако здесь значительное влияние оказывают малый размер выборки и число самих признаков. Это приводит к тому, что некоторые алгоритмы кластеризации с автоматическим выделением числа кластеров не способны собрать более двух кластеров. К ним можно отнести алгоритмы DBSCAN и OPTICS, которые могут хорошо работать на больших выборках, но показывают неоптимальные результаты на малых.

Алгоритм методом распространения близости, наоборот, способен эффективно работать с малыми выборками и плохо справляется с большими. Он смог выделить четыре кластера (это выглядит более предпочтительным для рассматриваемого набора данных). Здесь разбиение на кластеры проведено алгоритмически, а не субъективно, и его можно использовать в иных алгоритмах кластеризации, поддерживающих возможность задания числа кластеров априори.

В качестве алгоритмов кластеризации было выбрано три алгоритма:

- метод распространения близости;
- спектральная кластеризация;
- кластеризация k -средним.

Метод распространения близости — частный случай циклического распространения убеждений, где вместо суммы вероятностей в некоторых местах берется лишь максимальная из них [14]. В табл. 22 приведен алгоритм работы этого метода.

Таблица 22

Алгоритм работы метода распространения близости

Шаг	Действия
1	На основе признаков для каждой точки формируется матрица коэффициентов схожести
2	Каждая точка "оценивает" каждую точку, включая себя, на схожесть и возможность присоединиться к ее группе; так формируется матрица ответственности
3	По матрице ответственности каждой точки выбирается точка-лидер для группы, куда она добавится. Если некая точка дает слишком низкую оценку схожести по всем прочим точкам, то она такой точкой "выбирает" саму себя
4	Для каждой точки формируется оценка ее возможности стать лидером группы (к которой будут добавлены другие точки). Так формируется матрица доступности с возможными лидерами групп
5	Точки со слабым показателем доступности лишаются возможности быть выбранными другими точками (и сами собой) в дальнейшем формировании матрицы ответственности
6	Процесс продолжается, пока матрица доступности не перестанет меняться при повторении предыдущих шагов либо не будет получено нужное число лидеров групп
7	Формирование кластеров на основании матриц ответственности и доступности

Алгоритм спектральной кластеризации похож на метод распространения близости, рассмотренный ранее. Он также может работать лучше некоторых стандартных алгоритмов кластеризации (за счет обработки каждой точки данных как вершины графа, поскольку проблема кластеризации превращается в задачу о разбиении графа). Типичная реализация такого алгоритма состоит из трех основных этапов (см. табл. 23).

Таблица 23

Алгоритм работы метода спектральной кластеризации

Шаг	Действия
1	Построение графа сходства в виде матрицы смежности аналогично методу распространения близости
2	Проецирование данных на пространство меньшей размерности для учета возможности того, что элементы одного кластера могут находиться далеко в этом пространстве. Так пространство сжимается, а точки в нем становятся ближе (т. е. они могут быть сгруппированы традиционным алгоритмом кластеризации через вычисление матрицы Лапласа для графа с ее последующей нормализацией)
3	Формирование кластеров по матрице Лапласа для графа стандартным алгоритмом кластеризации (например, методом k -средних)

Алгоритм k -средних — эффективный алгоритм кластеризации в пять этапов (см. табл. 24).

Таблица 24

Алгоритм работы метода k -средних

Шаг	Действие
1	Выбирается заданное число кластеров k
2	Случайным образом в пространство данных помещается k точек (центроидов)
3	Для каждой точки из набора данных определяется, к какому центроиду она ближе всего
4	Каждый центроид перемещается в центр ему соответствующей выборки
5	Шаги 4 и 5 повторяются либо заданное число раз, либо пока центроиды не "сойдутся" (т. е. их смещение относительно предыдущего положения меньше заранее заданного значения ϵ)

На рис. 5 дана схема кластеризации.

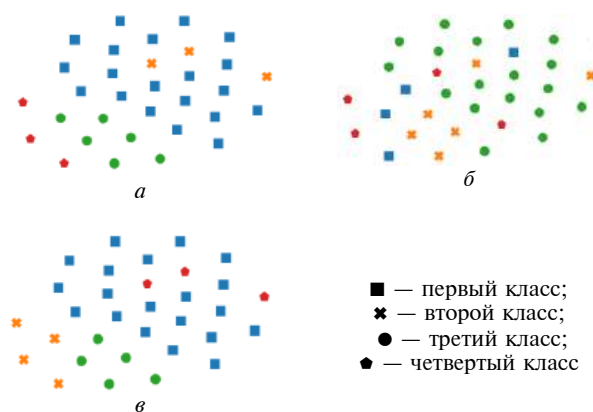


Рис. 5. Схемы кластеризации:

a — метод распространения близости; b — алгоритм спектральной кластеризации; v — кластеризация k -средним

Как видно из рисунка, все три алгоритма дают большой кластер, включающий около 15 объектов. Также видно и множество из 10 объектов, расположенное в левом нижнем углу графика. Все алгоритмы не относят это множество к первому большому множеству, но дают разные оценки того, какие и каким образом в нем можно выделить кластеры. Три объекта, близкие к верхнему левому углу большого кластера (по оценке всех алгоритмов кластеризации), не принадлежат ему.

Следовательно, при рассмотрении в качестве метрики качества субъективного разделения кластеров в двумерном пространстве хуже всего себя показал алгоритм спектральной кластеризации. Только в нем не видны четкие границы кластеров без сильных выбросов. Другие алгоритмы при той же метрике лучше справились с кластеризацией и дали очень близкие ответы (за исключением одного объекта). Однако надо учитывать, что человеческое восприятие двумерного

отображения многомерного пространства, построенного с помощью TSNE, является субъективным и может не отражать всю глубину взаимосвязи между точками в гиперпространстве, которую авторы не могут представить, поэтому вынуждены редуцировать его до воспринимаемого ими размера.

Из трех приведенных примеров использования алгоритмов кластеризации видно, что есть

возможность автоматической кластеризации военных роботов по заданным вручную признакам. Однако сложности и неточности в работе остальных алгоритмов указывают на наличие практических затруднений. Главным образом это может быть связано как с малым числом объектов кластеризации, так и с малым количеством их общих признаков, по которым ведется сепарация объектов (бионических роботов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев И. Anylogic за три дня: учеб.-метод. пособие. — СПб.: СППУ, 2016. — 202 с.
2. Программа анализа иерархий методом Саати // fox-smile.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://fox-smile.ru/analiz-ierarhiy-metodom-saati/> (дата обращения: 28.01.2021).
3. Пителинский К. В. Управление имиджем компании и метод анализа иерархий: сб. трудов XVIII Всеросс. симпозиума "Стратегическое планирование и развитие предприятий". Москва, 11—12 апреля 2017 г. — М.: ЦЭМИ РАН. Т. 2. С. 346—349.
4. Лекция 5 // edu.tltsu.ru [Электронный ресурс]. URL: [https://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site216/html/media67140/lec1_is-2_2020%20\(1\).pdf](https://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site216/html/media67140/lec1_is-2_2020%20(1).pdf) (дата обращения: 30.01.2021).
5. Робот-черепаха C-Turtle будет искать мины в пустыне // newsrussia.media [Электронный ресурс]. URL: <https://newsrussia.media/tehnologii/8043-robot-cherepaha-c-turtle-budet-iskat-miny-v-pustyne.html> (дата обращения: 30.01.2021).
6. BigDog — робот-собака для американских военных // androbots.ru [Электронный ресурс]. URL: http://androbots.ru/roboty_budushego/Big_Dog/BigDog.php (дата обращения: 30.01.2021).
7. Робот-гепард — марафонист // androbots.ru [Электронный ресурс]. URL: http://androbots.ru/roboty_budushego/darpa_cheetah/robot-gepard.php (дата обращения: 30.01.2021).
8. Робот черепаха // timerobots.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://timerobots.ru/robots/423-robot-cherepaha.html> (дата обращения: 30.01.2021).
9. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // www.ibra.com.ua [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ibra.com.ua/analitika/anaticheskie-obzory/1883-2010-04-23-09-52-42> (дата обращения: 30.01.2021).
10. Замятина О. М. Моделирование систем: учеб. пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 204 с.
11. Global Conflict Tracker // www.cfr.org [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker> (дата обращения: 30.01.2021).
12. Пителинский К. В., Федоров Н. В., Чайниц А. И., Широкова О. А. Управление информационным контуром вуза и его защита с помощью биометрической идентификации: некоторые методы и средства // Вопросы защиты информации. 2020. № 1. С. 19—29.
13. Clustering_of_robots // github.com [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/EnergonsER/clustering_of_robots/ (дата обращения: 28.01.2021).
14. Clustering by Passing Messages Between Data Points // <https://www.icmla-conference.org> [Электронный ресурс]. URL: <https://www.icmla-conference.org/icmla07/FreyDueckScience07.pdf> (дата обращения: 25.01.2021).

ON CLUSTERIZATION OF BIONIC ROBOTS BY THEIR FUNCTIONAL BY METHODS OF MACHINE LEARNING

K. V. Pitelinskiy, N. V. Fedorov, S. O. Makovey, M. P. Sigida
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Some methods of machine learning of models are considered and studied. A comparative analysis of the methods used today for clustering the objects under study (on the example of foreign bionic robots) is carried out. The results of clustering their functional characteristics have been obtained, which make it possible to determine the most priority classification algorithms for this technique from a practical point of view.

Keywords: robotics, bionic principles of motion, hierarchy analysis method, machine learning methods, classification, clustering.

Bibliography — 14 references.

Received April 8, 2021

УДК 551.510

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_50

ЩЕЛЕВАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ЗВУКОКОНТРАСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Плиплин, канд. техн. наук; Г. Г. Косарев; И. Д. Ключникова
Военный учебно-научный центр ВВС "Военно-воздушная академия
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина", г. Воронеж, Россия

А. В. Родионов, канд. техн. наук
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Рассмотрено устройство щелевой акустической системы для обнаружения и распознавания звукоконтрастных объектов, основным узлом которой является линейка микрофонов. Рассматриваемая акустическая система позволяет определить тип и координаты каждой акустической цели из множества ЛА, находящихся в поле сопровождения.

Ключевые слова: акустические системы, акустическая цель, звукоконтрастный объект.

В настоящее время ведутся активные работы над разработкой комплексов акустического обнаружения и распознавания звукоконтрастных объектов [1–3]. Суть акустических методов обнаружения заключается в приеме звуковых волн от звукоконтрастного объекта, сравнении амплитуды принятого сигнала от этого объекта с уровнем фона (шумов атмосферы и акустического приемника), селекции сигнала от объекта и т. д.

Так, в устройстве акустического обнаружения и распознавания летательных аппаратов (ЛА) сигнал от воздушной цели поступает на антенную акустическую решетку, состоящую из большого количества микрофонов, соединенных через канальные усилители и аналоговые низкочастотные фильтры с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) [2].

Недостатком акустических систем обнаружения и распознавания ЛА является возможность

определения координат (пеленгации) только одиночной воздушной цели. Это связано со сложностью селекции воздушных целей пассивными системами неоптического диапазона без сканирования. Следовательно, при одновременном нахождении в зоне чувствительности акустических приемников нескольких целей будут возникать ошибки пеленгации.

Возникает необходимость разработки сканирующих акустических систем обнаружения воздушной цели с возможностью определения приоритетной цели в поле сопровождения при многоцелевой обстановке, а также определения типа и координат каждой акустической цели из множества ЛА, находящихся в поле сопровождения.

Рассмотрим возможное построение сканирующей акустической системы (АС) обнаружения, основным узлом которой является линейка микрофонов, соединенных через предварительные усилители с соответствующими первыми входами адаптивных фильтров низких частот; вторые входы соединены с выходом блока расчета оптимальной частоты фильтрации. Линейка приемников расположена вдоль оси внутри вращающегося с заданной скоростью цилиндрического экрана, закрытого с торцов и имеющего отверстие в центре цилиндра. Вращение цилиндрического экрана обеспечивается двигателем (рис. 1, 2).

На рис. 3 представлена функциональная схема устройства акустического обнаружения и распознавания ЛА.

Плиплин Андрей Александрович, доцент.

E-mail: samolet31@rambler.ru

Косарев Григорий Геннадьевич, преподаватель.

E-mail: samolet31@rambler.ru

Ключникова Ирина Дмитриевна, младший научный сотрудник.

E-mail: samolet31@rambler.ru

Родионов Алексей Васильевич, доцент, профессор кафедры.

E-mail: samolet31@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2021 г.

© Плиплин А. А., Косарев Г. Г., Ключникова И. Д., Родионов А. В., 2021

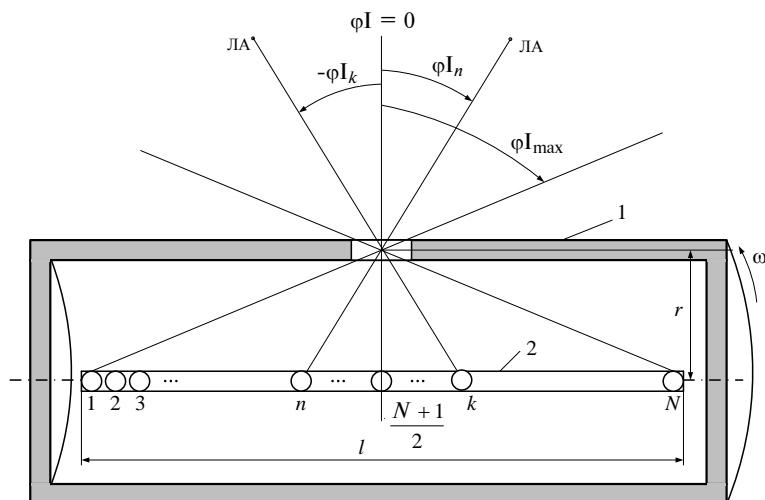


Рис. 1. Устройство щелевой акустической системы сопровождения звукоконтрастного объекта по азимуту

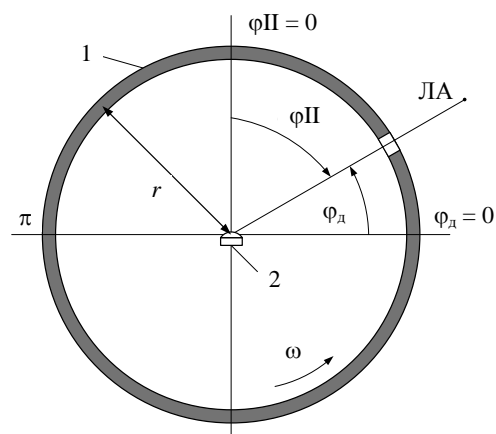


Рис. 2. Устройство щелевой акустической системы сопровождения звукоконтрастного объекта по углу места

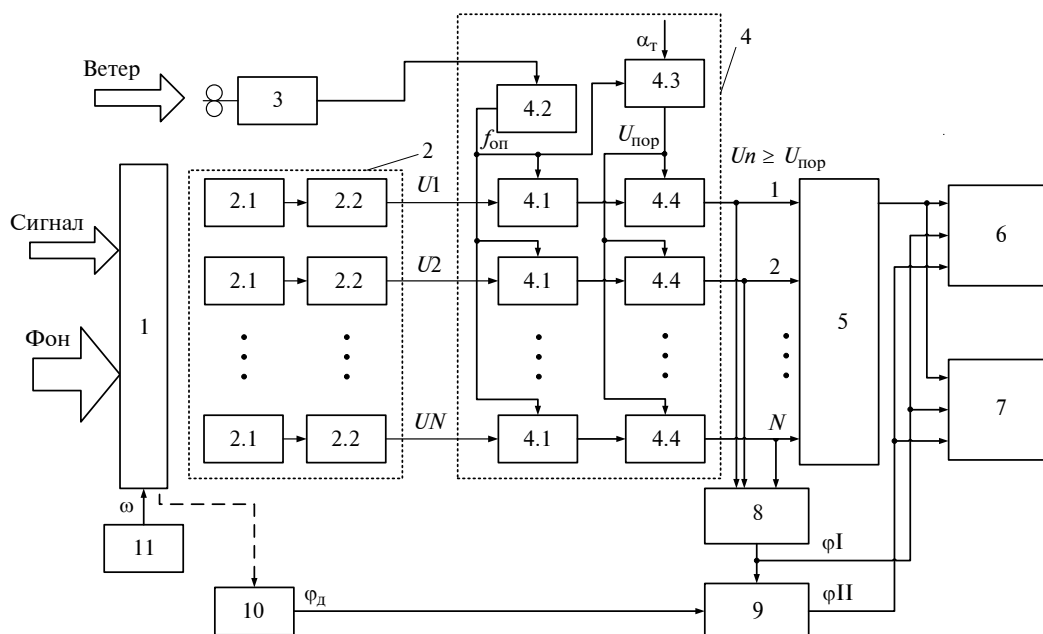


Рис. 3. Функциональная схема щелевой акустической системы сопровождения звукоконтрастного объекта

Устройство щелевой акустической системы обнаружения и распознавания звукоконтрастного объекта содержит вращаемый двигателем 11 закрытый с торцов цилиндрический экран 1 с отверстием в центре цилиндрической части, многоканальный акустический приемник 2 АС и датчик 3 скорости ветра, соединенные с обнаружителем 4, выходы которого соединены с устройством распознавания 5, а через блок 8 расчета угловых координат канала I и через блок 9 расчета угловых координат канала II — с датчиком 10 углового положения цилиндрического экрана 1. При этом выходы устройства распознавания 5, блоков 8 и 9 расчета угловых коор-

динат также соединены с индикаторным устройством 6 и радиомодемом 7.

Многоканальный приемник 2 содержит нечетное количество акустических приемных каналов, включающих последовательно соединенные микрофоны 2.1 и предварительные усилители 2.2. Сигнальные выходы предварительных усилителей 2.2 соединены с соответствующими сигнальными входами обнаружителя 4.

Обнаружитель 4 выполнен на перепрограммируемых логических интегральных схемах и содержит блок фильтров 4.1 с управляемой полосой пропускания. Сигнальные входы фильтров 4.1 соединены с выходами соответствующих предва-

рительных усилителей 2.2 приемника 2. Управляющие входы всех фильтров 4.1 соединены через блок 4.2 расчета оптимальной частоты $f_{оп}$ фильтрации с выходом датчика 3 скорости ветра. Сигнальные выходы фильтров 4.1 соединены с сигнальными входами пороговых устройств 4.4, управляющие входы которых через блок 4.3 расчета адаптивного порога обнаружения соединены с выходом блока 4.2 расчета оптимальной частоты $f_{оп}$ фильтрации фильтров 4.1. Выходы пороговых устройств 4.4 по сигналам фильтров 4.1, превышающим пороговое значение, соединены с соответствующими входами устройства 5 распознавания типа ЛА и с соответствующими входами блока 8 расчета угловых координат ЛА канала I, выход которого соединен с управляющим входом блока 9 расчета угловых координат ЛА канала II и с третьими входами индикаторного устройства 6 и радиомодема 7. Сигнальный вход блока 9 расчета угловых координат ЛА канала II соединен с выходом датчика 10 углового положения цилиндрического экрана 1.

Устройство распознавания 5, как и в [2], содержит последовательно соединенные фурье-преобразователь АС в спектральный сигнал и блок сравнения спектра АС с библиотекой спектров типов ЛА соответствующего блока памяти (на рисунке не показано). Выход устройства распознавания 5 соединен с индикаторным устройством 5 и радиомодемом 6 передачи пеленгационных данных на станцию вторичной обработки результатов пеленга.

Рассмотрим работу акустического сопровождения ЛА.

Линейка микрофонов 2 закрыта цилиндрическим экраном 1 с отверстием. При этом АС от ЛА будут попадать на определенные микрофоны линейки 2 (микрофоны с номерами n и k). Таким образом, осуществляется пространственная селекция источников АС.

Вращение цилиндрического экрана 1 с угловой скоростью ω по углу места определяет момент времени попадания АС на линейку микрофонов 2. Таким образом, осуществляется временная селекция источников АС. При этом перемещением отверстия цилиндрического экрана 1 относительно линейки микрофонов 2 осуществляется акустическое сканирование воздушного пространства.

Акустические сигналы от ЛА, проходя через отверстие экрана, при определенном угловом положении φ_d цилиндрического экрана 1 попадают на линейку микрофонов 2. При этом в мгновенном угловом акустическом поле может находиться несколько источников АС. Соответственно несколько микрофонов линейки могут

вырабатывать электрические сигналы. Сигналы микрофонов 2.1 усиливаются предварительными усилителями 2.2.

Усиленные сигналы подаются на соответствующие адаптивные фильтры низких частот 4.1 обнаружителя 4. Одновременно на обнаружитель 4 с датчика 3 скорости ветра выдаются текущие данные о скорости V ветра, характеризующие преимущественную мощность фона (акустических шумов атмосферы). В блоке 4.3 производится расчет порогового значения сигнала по дисперсии атмосферных шумов, на фоне которых необходимо обнаружить сигнал от ЛА. Численное значение оптимальной частоты фильтрации $f_{оп}$ определяется в блоке 4.2 из условия обеспечения требуемого отношения сигнал/шум на входах пороговых устройств 4.4. Текущее значение $f_{оп}$ с блока 4.2 передается на все адаптивные фильтры низких частот 4.1 одновременно для корректировки их полосы пропускания полезного сигнала на фоне помех в каждом приемном канале с увеличенным соотношением сигнал/шум. Отфильтрованные сигналы поступают на сигнальные входы пороговых устройств 4.4, на управляющие входы которых с блока 4.3 подается адаптивное значение порога $U_{пор}$. Текущие значения $f_{оп}$ и $U_{пор}$ зависят от уровня акустических шумов после фильтрации и заданной вероятности α_t ложной тревоги по обнаружению ЛА и рассчитываются в блоках 4.2 и 4.3 так же, как в [2].

При превышении значений полезных сигналов с линейки микрофонов порогового значения $U_{пор}$ в пороговых устройствах 4.4 принимается решение об обнаружении ЛА. Далее распознавание обнаруженного ЛА осуществляется в блоке 5 путем сравнения спектра акустического излучения ЛА с библиотекой спектров типовых ЛА. При этом дополнительной информацией для распознавания могут быть скорость цели и уровень ее акустического излучения. Одновременно осуществляется расчет угловых координат ЛА.

Блок 8 по номерам микрофонов, с которых снимается сигнал выше порогового, определяет координаты φI_n акустических целей по каналу I по формуле

$$\varphi I_n = \arctg \left[\frac{l}{r} \left(\frac{1}{2} - \frac{n}{N+1} \right) \right],$$

где φI_n — координата акустической цели по каналу I;

l — длина линейки микрофонов;

r — радиус цилиндрического экрана;

n — номер микрофона в линейке, сигнал с которого выше порогового (номер входа блока 8);

N — количество микрофонов в линейке (должно быть нечетным).

Координаты ЛА по каналу I поступают в устройство индикации 6, радиомодем 7 и, в качестве разрешающего сигнала, в блок 9 расчета угловых координат по каналу II. В блоке 9 по значениям $\varphi_{\text{д}}$ датчика 10 углового положения цилиндрического экрана рассчитываются координаты φ_{II} акустических целей по каналу II по формуле

$$\varphi_{\text{II}} = \frac{\pi}{2} - \varphi_{\text{д}},$$

где φ_{II} — координата акустической цели по каналу II;

$\varphi_{\text{д}}$ — значение датчика углового положения цилиндрического экрана.

Тип звукоконтрастного объекта и его координаты по каналам I и II отображаются на устройстве 6 индикации и через аппаратуру 7 передачи данных передаются по радиолинии связи на станцию вторичной обработки результатов пеленга для определения пространственно-временных параметров ЛА методом триангуляции.

Вывод

На основании изложенного делаем вывод о том, что щелевая акустическая система сопровождения звукоконтрастных объектов позволяет осуществлять пространственную и временную селекцию источников акустических сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В. П., Кузьменко А. К., Свет В. Д., Спицын Е. И. Экспериментальные исследования методов акустической навигации вертолета по его шумоизлучению // Акустический журнал. 2000. Т. 46. № 6. С. 740—747.
2. Кондратьев В. И., Новиков С. В., Рассадов Д. Н., Стадник А. В. Экспериментально-теоретическое исследование возможности акустической пеленгации вертолетов // Молекулярные технологии. 2010. № 4. С. 138—149.
3. Тарасов В. А., Кропачев Д. А. Корреляционная пассивная звуковая локация // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2002. № 2. С. 29—34.

SLIT ACOUSTIC SYSTEM FOR DETECTING AND TRACKING SOUND-CONTRAST OBJECTS

A. A. Pliplin, G. G. Kosarev, I. D. Klyuchnikova

Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education Military Educational Research Centre of Air Force "Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Voronezh, Russia

A. V. Rodionov

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The article discusses the construction of a slotted acoustic system for detecting and recognizing sound-contrasting objects. The main system's unit is a line of microphones. Acoustic system makes it possible to recognize the type and coordinates of each acoustic target, located in the tracking field.

Keywords: acoustic systems, acoustic target, sound contrast object.

Bibliography — 3 references.

Received September 20, 2021

УДК 681.5

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_54

ВВЕДЕНИЕ В НАУЧНУЮ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ "ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА (В ПРОМЫШЛЕННОСТИ)" ПО ОТРАСЛИ ЗНАНИЙ "ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. МЕТОДИКО-ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ"

С. В. Баушев, д-р воен. наук

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

А. Ю. Брагин

АО «Российский институт радионавигации и времени», Санкт-Петербург, Россия

С единых позиций целенаправленной человеческой деятельности предложены основы терминологической системы в области знаний "Организация производства (в промышленности)", ориентированные на их использование специалистами и руководителями в научно-практической деятельности, а также в процессе подготовки аспирантов и молодых ученых, осуществляющих исследования по отрасли знаний "Технические науки".

Ключевые слова: систематизация, производство, промышленность, технические науки.

Существует достаточно много научно-технической, учебной и методической литературы, в прямой или косвенной постановке относящейся к области знаний, называемой "организация производства". Однако несмотря на их несомненные достоинства, на взгляд авторов, ряд вопросов требует уточнения, так как большая часть литературы ориентирована на отрасль знаний "Экономические науки" и поэтому ей недостает технократической однозначности толкования используемых понятий и их формализации, дисциплинирующей логику изложения.

Организация производства представляет собой специальную область человеческой деятельности, тезаурус которой на первый взгляд кажется понятным, едва ли неочевидным. Однако достаточно продолжительный опыт научного и технического общения авторов с разработчиками, производителями и эксплуатантами продукции любого вида убеждает в обратном: разночтения и терминологические споры присутствуют везде. Поэтому авторы провели систематизацию сведений в этой области в целях формирования и поддержания единого информационного пространства.

Вообще говоря, словарей, государственных стандартов и других сборников терминов и определений немало (см., например [1]). Придумывать еще один вариант определения достаточно сложно и нерационально. Авторы постарались, во-первых, отобрать из большой совокупности определений именно те, которыми целесообразно оперировать, во-вторых, систематизировать их и, наконец, стремились дать толкование и примеры терминов и понятий. Предлагаемый тезаурус выстроен в определенную систему с позиции целенаправленной человеческой деятельности, вводимые понятия связаны с соседними, а сами определения по мере необходимости скорректированы и не всегда являются калькой из других изданий.

Производство и его организация

С позиций настоящей статьи определим понятие "производство" следующим образом: целенаправленный процесс выпуска продукции: функция или действия, предусматривающие перевод или превращение материала из сырья или заготовки в законченное в дальнейшем состояние [2]; стадия жизненного цикла, на которой осуществляется изготовление изделий, предназначенных для поставки заказчикам [3].

Как и всякий целенаправленный процесс, осуществляемый людьми, производство:

- организуется;
- осуществляется (реализуется, ведется и т. п.);
- обеспечивается.

Баушев Сергей Валентинович, заместитель начальника кафедры систем сбора и обработки информации.

E-mail: vka@mil.ru

Брагин Алексей Юрьевич, генеральный директор.

E-mail: office@rirt.ru

Статья поступила в редакцию 8 июня 2021 г.

© Баушев С. В., Брагин А. Ю., 2021

Под *организацией производства* будем понимать совокупность действий, выполняемых должностными лицами различных органов управления и подчиненных им структур по созданию условий для реализации целей промышленного (технического) развития и выпуска продукции.

Следует понимать, что производство, а значит, и его организация различаются по своему характеру в зависимости от размаха (масштаба) деятельности, а также от уровня состояния текущего производства, если таковое имеется. Так, можно говорить об организации производства продукции для ветроэнергетики или нового комплекса вооружения, что потребует привлечения производственных мощностей нескольких (возможно даже десятков) предприятий, задействованных в реализации соответствующего проекта. В некоторых случаях оказывается необходимым строительство новых заводов, например по производству электромобилей, когда использование ресурсов существующих промышленных предприятий представляется нецелесообразным ввиду, например, морального устаревания применяемых технологий или их непригодности для производства новой продукции, а также в случаях реализации бизнес-проектов промышленного характера, не имеющих отношения к государственному бюджету. На состоявшихся предприятиях промышленности, как производственных, так и разрабатывающих, процессы организации производства носят несколько иной характер и состоят, как правило, либо в организации повседневной текущей производственной деятельности в ходе выпуска освоенной продукции, либо в организации производства новых изделий.

Выделим тематику организации производства на четырех основных уровнях (см. таблицу):

- национальном, т. е. в масштабах страны, государства (макроуровень); на этом уровне решаются вопросы участия в международном разделении труда, обосновываются требования к промышленному развитию страны в целом, ключевые направления развития промышленности и критические технологии, осуществляется распределение промышленности по территории страны и ее регионам, финансируются отрасли, национальные проекты и т. д.;

- отраслевом, или корпоративном, т. е. в масштабах отрасли, корпорации, концерна и т. п. (мезоуровень). Как правило, именно на этом уровне решаются вопросы создания новых предприятий, их проектирования, оснащения/переезда, кооперации и логистики при создании финальных изделий и т. д.;

- на уровне существующего самостоятельного предприятия (вопросы текущего производства и штатной эксплуатации средств производства, постановки на производство новых видов продукции, а также своевременной смены технологий и технологического оборудования);

- на уровне производственного подразделения промышленного предприятия, например цеха (освоение и эксплуатация цехового технологического оборудования, а также организация коллективной работы персонала — основных и вспомогательных рабочих, инженерно-технических работников и специалистов).

Как правило, в существующей учебной литературе вопросы организации производства излагаются применительно к уровню нового или уже существующего самостоятельного предприятия, а в качестве базового примера в основном предлагается рассматривать ситуацию, когда предприятие проектируется или приступает к освоению выпуска новой продукции.

Уровни организации производства и основные цели

Уровни организации производства	Основные цели и задачи
Макроуровень	Создание новых направлений промышленного производства; индустриализация территорий (субъектов, регионов, районов); освоение новых залежей природных ресурсов; создание облика новых производств, промышленных предприятий и т. д.
Мезоуровень	Проектирование новых промышленных предприятий; формирование кооперации и логистических связей при разработке и создании сложных видов продукции; переориентирование существующих на выпуск новых видов продукции и т. п.
Уровень предприятия	Введение в строй нового предприятия, освоение производства в целом; разработка и освоение производства новых видов продукции; техническое перевооружение и техническое развитие; выполнение производственных планов
Уровень производственного подразделения	Освоение персоналом цехового оборудования и его штатная эксплуатация; взаимодействие со смежными подразделениями; поддержание и развитие необходимых компетенций персонала подразделения; выполнение производственных действий

В этом случае под *организацией производства на предприятии* будем понимать деятельность соответствующих должностных лиц (директора, заместителей, сотрудников структурных подразделений, т. е. укрупненных подразделений, например производственного департамента, научно-исследовательского отделения и т. п., подчиненных непосредственно генеральному директору или его заместителям) по:

- определению целей производства;
- декомпозиции целей производства на совокупность задач, которые необходимо выполнить к определенному сроку с требуемым качеством задействованным подразделениям предприятия;
- распределению имеющихся ресурсов (финансовых, технологического оборудования, человеческого ресурса предприятия, производственных площадей и т. д.) по целям и задачам;
- планированию применения (использования) имеющихся ресурсов и приобретения недостающих;
- установлению системы (порядка, правил, способов) управления, а также порядка взаимодействия между структурными подразделениями предприятия, определению ответственности, назначению ключевых показателей эффективности (КПЭ, англ. KPI);
- организации процессов всех или основных видов обеспечения;
- контролю выполнения поставленных задач;
- оказанию помощи подчиненным и взаимодействующим подразделениям.

Примечание. Предлагаемая совокупность задач применима на любом уровне организации производства.

Под осуществлением производства, или собственно производством, производством в узком смысле, будем понимать процесс преобразования сырья, материалов, покупных комплектующих изделий и т. д. в продукцию.

Ключевым элементом производства как целенаправленного процесса выпуска продукции является **производственный процесс** — последовательное преобразование сырья и материалов в продукцию. Более строгое определение производственного процесса, вытекающее из ранее приведенного определения производства, — структурированный комплекс видов деятельности или работ (переделов), выполняемых с материалом для перевода его из сырья или заготовки в завершенное в дальнейшем состояние [4].

Продукция — результат производственного процесса; добытый, изготовленный предприятием продукт труда, предназначенный для удовле-

творения общественной или личной потребности [5]. Обычно выделяют четыре [6] или пять [7] типов продукции: технические средства; программная продукция; услуги; научно-техническая продукция; перерабатываемые материалы.

Производственная система

Производство можно рассматривать не как процесс, а как некоторый объект, как подсистему промышленного предприятия, например как его структурное подразделение (отсюда должность, например, "начальник (директор) производства" или "начальник производственного департамента"), а также как производственное предприятие в целом (*разговорное*).

В случаях, когда говорят о производстве не как о процессе, а как об объекте, вводят понятие **"производственная система"**, под которой понимают совокупность технологических систем и систем обеспечения их функционирования, предназначенных для изготовления продукции определенного наименования (вида).

Примечание. Очевидно, что конкретная производственная система проходит в своем развитии определенные этапы, укрупненно которыми можно считать следующие: проектирование ПрС (разработка облика нового предприятия); создание; штатная эксплуатация; совершенствование.

Таким образом, предприятие как производственная система ПрС представляет собой совокупность:

- средств производства (СрПр), компонентами которых являются:
 - средства труда (СрТр) (технологическое оборудование, оснастка, инструмент, общинженерное оборудование, контрольно-измерительная аппаратура и т. д.);
 - предметы труда (ПрТр) (сырье, материалы, заготовки, покупные комплектующие изделия, производимые и/или используемые полуфабрикаты и т. п.);
 - персонала (Перс) предприятия (иногда используется выражение "рабочая сила", несколько устаревшее из-за объективного изменения (уменьшения) соотношения собственно рабочих (основных, вспомогательных) и других категорий работников; в последнее время часто используется понятие "человеческий ресурс" как совокупная характеристика персонала с обладаемыми им компетенциями);

Примечание. Достаточно типичным для современных машиностроительных, радиотехнических и других производственных предприятий численно-

стью в несколько тысяч человек является распределение персонала по категориям, приведенное на рис. 1.

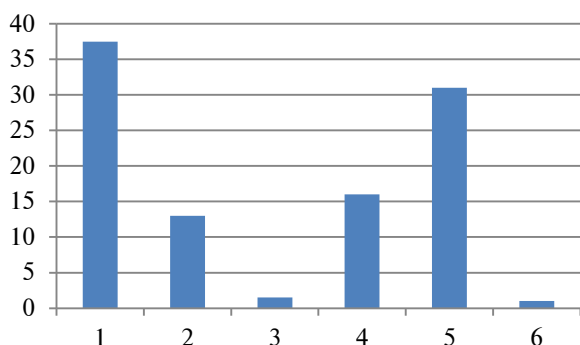


Рис. 1. Распределение сотрудников по категориям, %:
1 — основные производственные рабочие; 2 — вспомогательные рабочие; 3 — обслуживающий персонал;
4 — руководители; 5 — специалисты; 6 — служащие

- финансовых средств (ФСр) как некоторого объема собственных и заемных денежных ресурсов, необходимых для функционирования предприятия и выполнения поставленных задач, достижения намеченных целей. Финансовые ресурсы можно рассматривать как средство измерения результата работ производственных систем суверенного государства.

Воспользуемся далее теоретико-множественным подходом для того, чтобы описать введенные термины с определенной степенью формализации, которая позволит в дальнейшем избежать недопонимания сущности описываемых объектов и явлений.

Производственную систему (ПрС) можно записать как множество:

$$\begin{aligned} \text{ПрС} &= \{\text{СрПр}_{\{2\}}, \text{Перс}, \text{ФСр}\} = \\ &= \{\text{СрТр}, \text{ПрТр}, \text{Перс}, \text{ФСр}\}, \end{aligned}$$

а превращение предметов труда (ПрТр) — сырья и материалов (СиМ), покупных изделий (ПкИ) и т. д. — в продукцию (Пр) в ходе производственного процесса (ПрПр) как

$$\{\text{ПрТр}\}^{\text{ПрПр}} \rightarrow \text{Пр}.$$

В целях предотвращения разночтений определим кажущиеся очевидными понятия сырья и материалов.

Обеспечение производства

Под **обеспечением производства** будем понимать систему мероприятий, направленных на поддержание персонала и технических средств предприятия в состоянии, гарантирующем эффективное выполнение производственных планов и планов развития предприятия.

По характеру решаемых задач и осуществляемым мероприятиям основными видами обеспечения промышленного производства можно считать:

- конструкторское (организует и реализует руководитель конструкторского подразделения, сопровождающего производство изделий по конструкторской документации предприятия-разработчика);
- технологическое (главный технолог);
- управление качеством продукции (генеральный (главный) конструктор, заместитель по качеству);
- финансовое (заместитель руководителя предприятия по финансово-экономической деятельности);
- кадровое (заместитель по персоналу);
- обеспечение режима и безопасности (заместитель по режиму и безопасности);
- материально-техническое (заместитель по закупкам);
- общинженерное (технический директор, главный инженер);
- юридическое (заместитель по правовым вопросам);
- бытовое (заместитель по административно-хозяйственной деятельности).

Дадим общее определение того или иного вида обеспечения как совокупности действий (мероприятий), выполняемых конкретным должностным лицом и подчиненным ему структурным подразделением предприятия как самостоятельно, так и во взаимодействии с другими структурными подразделениями по созданию благоприятных условий и предпосылок к достижению целей производства.

В ряде случаев эти соответствующие действия с необходимой детализацией находят свое отражение в стандартах предприятия (организации — СТО), в частности при описании процессного подхода к управлению предприятием и выделении основных процессов и назначении их так называемых владельцев [3]. Пример, иллюстрирующий вариант детализации процесса управления качеством продукции и взаимосвязи с другими процессами, представлен на рис. 2.



Рис. 2. Взаимосвязь основных процессов управления качеством продукции (вариант)

О цели и целевой функции производства

Как было указано, производство понимаем как некоторый целенаправленный процесс выпуска продукции промышленным предприятием как целеустремленной технической системой [8]. В свою очередь, это предполагает введение цели и целевой функции F , а задача организации производства должна будет состоять в таком выборе управляющих воздействий на элементы производственной системы ПрС и системы обеспечения СОб, рассматриваемых как варьируемые переменные — аргументы, которые бы обеспечивали достижение критериальных (заданных) значений целевой функции F .

Запишем в самом общем виде, что целевая функция F зависит от значений N параметров производственной системы ПрС и M параметров системы обеспечения СОБ:

$$F = F(\text{ПрС}_{\langle N \rangle}, \text{СОБ}_{\langle M \rangle}),$$

где N и M — мощности множеств параметров $\text{ПрС}_{\langle N \rangle}$ и $\text{СОБ}_{\langle M \rangle}$ соответственно.

Теперь формально задачу организации производства можно записать как поиск вектора $A_{\langle N+M \rangle}^*$, состоящего из $N + M$ компонентов — N параметров ПрС и M параметров СОБ, таких, что их использование в качестве аргументов целевой функции F обеспечивает ей выполнение заданных условий либо пригодности, либо превосходства, либо оптимальности:

$$\begin{aligned} A_{\langle N+M \rangle}^* &= \arg A_{\langle N+M \rangle}^* = \\ &= \arg \{N \times M\} F(\text{ПрС}_{\langle N \rangle}, \text{СОБ}_{\langle M \rangle}), \end{aligned}$$

где \succ — общий символ доминирования (больше/меньше, лучше и т. д.); $\{N \times M\}$ — декартово произведение множеств параметров $\text{ПрС}_{\langle N \rangle}$ и $\text{СОБ}_{\langle M \rangle}$ мощности $N \times M$, представляет собой множество возможных значений вектора $A_{\langle N+M \rangle}$, т. е. необходимый результат ищется как удовлетворяющий условию доминирования на всем множестве возможных вариантов.

Для случая поиска оптимального решения можно записать в виде

$$A_{\langle N+M \rangle}^* = \arg \text{opt} F(\text{Пр}C_{\langle N \rangle}, \text{Соб}_{\langle M \rangle}).$$

Замечание. В большинстве ситуаций оказывается возможным довольствоваться не оптимальным значением $A_{\langle N+M \rangle}^*$, а рациональным — одним из множества пригодных значений $\{A_{\langle N+M \rangle}\}^{\text{приг}}$.

В качестве показателя целевой функции F , наделенного физическим смыслом, разные авторы обосновывают применение различных по смыслу частных числовых характеристик, например расхода финансовых средств (с целью его оптимизации/минимизации), уровня издержек или прибыли предприятия. Достаточно комплексным и универсальным в этом плане является вероятность достижения поставленной цели при ограничениях. В задачах организации производства это может быть вероятность

выполнения проектов в срок с заданным качеством и имеющимися ресурсами [8—12].

Заключение

Таким образом, с единых позиций целенаправленной человеческой деятельности предложены основы терминологической системы в области знаний "Организация производства (в промышленности)", ориентированные на их использование специалистами и руководителями в научно-практической деятельности, а также в процессе подготовки аспирантов и молодых ученых, осуществляющих исследования по отрасли знаний "Технические науки".

Авторы выражают искреннюю признательность составителям Терминологического справочника научно-производственного предприятия, чей труд в существенной мере способствовал эффективной работе по отбору терминов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терминологический справочник научно-производственного предприятия / Сост. Городищев В. А. / под ред. Похабова Ю. П. — Красноярск: Литера-принт, 2017. — 556 с.
2. ГОСТ Р ИСО 15531-1-2008 Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Данные по управлению промышленным производством. Ч. 1. Общий обзор. П. 3.6.22; см. также Словарь APICS, 8-е издание.
3. ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Статья 3.21.
4. ГОСТ Р 51293-99 Идентификация продукции. Раздел 2, определения.
5. ГОСТ ISO 9000-2011 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. П. 3.4.2.
6. ГОСТ Р 56518-2-2015 Техника космическая. Требования к системам менеджмента качества организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации.
7. Р 50.1.031-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Статья 3.4.1.
8. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
9. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.
10. Дудорова Н. А. К постановке задачи оценивания эффективности функционирования инновационного предприятия ОПК // Радионавигация и время: Труды СЗРЦ Концерна ВКО "Алмаз—Антей". 2009. № 4(12).
11. Жиленков А. А., Черный С. Г. Применение технологий искусственного интеллекта в автоматизации контроля и управления в системах активных фазированных решеток для геоинформационного комплекса // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2020. № 2(146). С. 57—63.
12. Жиленков А. А., Абрамкина К. В., Епифанцев И. Р., Черный С. Г. Интеллектуальное управление качеством энергии в автономных электроэнергетических системах транспортных объектов // Электротехника. 2021. № 5. С. 57—63.

INTRODUCTION TO THE SCIENTIFIC SPECIALTY "ORGANIZATION OF PRODUCTION (IN INDUSTRY)" IN THE FIELD OF KNOWLEDGE "TECHNICAL SCIENCES. METHODOLOGICAL AND TERMINOLOGICAL ASPECT"

S. V. Baushev

Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

A. Yu. Bragin

Russian Institute of Radio Navigation and Time Joint Stock Company, St. Petersburg, Russia

From a unified position of purposeful human activity, the foundations of the terminological system in the field of knowledge "Organization of production (in industry)" are proposed, focused on their use by specialists and managers in scientific and practical activities, as well as in the process of training graduate students and young scientists carrying out research on branch of knowledge "Engineering Science".

Keywords: systematization, production, industry, technical sciences.

Bibliography — 12 references.

Received June 8, 2021

УДК 623.4.023+681.786
DOI: 10.52190/1729-6552_2021_4_61

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ОГНЕВОЙ МОЩИ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

К. А. Лихоманов; Н. Д. Изергин, д-р техн. наук; Р. В. Старков, канд. пед. наук;
В. С. Семёнов

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, г. Рязань, Россия

Рассмотрены приоритетные направления совершенствования системы управления огнем боевых машин, стоящих на вооружении ведущих армий мира, включая внедрение технологий технического зрения в прицельно-наблюдательные комплексы. Охарактеризованы тенденции опытно-конструкторских работ по модернизации системы управления огнем для повышения поисково-ударных возможностей боевых машин пехоты стран НАТО. Рассмотрены функциональные возможности стрельбы с закрытых огневых позиций из вооружения БМД-4М.

Ключевые слова: система управления огнем, техническое зрение, система технического зрения, оптроника, прицельно-наблюдательный комплекс, поисково-ударные возможности, ситуационная осведомленность, повышение поисковых характеристик, тепловизор, огневая мощь.

Ведущие страны мира, имеющие большой опыт в сфере танкостроения, ведут работы по модернизации парка боевых машин пехоты и танков (БМ), а также организуют разработку перспективных образцов бронетанковой техники (БТТ), которые будут соответствовать концепциям применения войск (сил) в современном бою [1, 2].

В условиях постоянного развития форм и способов ведения вооруженной борьбы, дальнейшего развития концепции "сетцентрической" или "четырёхмерной" войны всё более жесткие требования предъявляют к средствам поражения, т. к. они обеспечивают непосредственное воздействие на противника. Следовательно, при проведении модернизации парка БМ, создании новых образцов БТТ необходимо учитывать возможность гибкой перестройки архитектуры образца для соответствия возрастающим требованиям современного боя по основ-

ным показателям боевой эффективности, в частности по огневой мощи. Имеющиеся в сфере танкостроения методы обоснования требований к создаваемым образцам бронетанкового вооружения и техники (БТВТ) XX в., как правило, основаны на принципе от "достигнутого уровня". На данном этапе развития военно-политической ситуации в мире ситуация изменилась.

Модернизируемые и перспективные образцы БТВТ как в нашей стране, так и за рубежом имеют ряд общих признаков, основанных на конструктивной реализации передовых технических решений и научных достижений. К этим признакам относятся наличие автоматизированной системы управления огнем (СУО), интеграция боевых машин в единый информационный комплекс, расширенные возможности по поиску и идентификации целей, принципиально новые технологии управления как самим образцом, так и его вооружением.

Системы представления изображений и информации, которые позволяют оповестить экипаж боевой бронированной машины (ББМ) об угрозах со стороны противника, становятся обязательными для новых проектов. Кроме того, подобные системы стали основным компонентом программ по модернизации и усовершенствованию с момента появления их на рынке вооружений. Значительным толчком к разработке и приобретению систем ситуационной осведомленности послужили действия коалиционных сил НАТО в Ираке, которые характеризовались значительными угрозами для вооружения и во-

Лихоманов Константин Александрович, адъюнкт очной штатной адъюнктуры.

E-mail: gniiivm.g@ya.ru

Изергин Николай Донатович, профессор.

E-mail: gniiivm.g@ya.ru

Старков Роман Валериевич, начальник кафедры вооружения и стрельбы.

E-mail: gniiivm.g@ya.ru

Семенов Вячеслав Сергеевич, научный сотрудник.

E-mail: gniiivm.g@ya.ru

Статья поступила в редакцию 15 января 2021 г.

© Лихоманов К. А., Изергин Н. Д., Старков Р. В., Семенов В. С., 2021

енной техники (ВВТ) и необходимостью привлечения бронетехники для ведения боевых действий в городских районах. Перспективы модернизации и совершенствования военной техники с такой архитектурой в этом плане безграничны [3].

В статье рассматривается вопрос повышения огневой мощи бронеобъекта за счёт значительного расширения его поисковых возможностей и информационной производительности путем внедрения в состав прицельно-наблюдательного комплекса технологий (систем) технического зрения (СТЗ, ТЗ).

Характеристика свойств огневой мощи бронетанковой техники

Одним из ключевых критериев боевой эффективности образца БТТ является огневая мощь, которую можно охарактеризовать следующими основными базовыми свойствами: поисковые возможности, огневая производительность и огневой ресурс. Кроме того, в подсистеме базовых свойств можно выделить частные показатели: среднее время обнаружения и распознавания цели, интенсивность разведки целей, плотность потока поражающих выстрелов, время подготовки первого и второго выстрелов, вероятность попадания в цель, средний расход боеприпасов (рисунок).

Исходя из анализа базовых свойств и частных показателей составляющих огневую мощь бронеобъекта необходимо отметить, что определяющими являются не только возможности ком-

плекса вооружения БМ по огневому воздействию на объект, но и поисковые возможности прицельно-наблюдательного комплекса. На данном этапе развития средств огневой поражающей подавляющее большинство боевых машин пехоты вооружены скорострельными пушками калибра 25–30 мм (БМП-2, БМП-3, БМД-4М, БМП М2А3 "Бредли", БМП "Пума"), а также имеют в своем составе схожие по характеристикам противотанковые ракетные комплексы. Но основной акцент необходимо сделать на возможностях систем управления вооружением и огнем, а в их составе — на характеристиках прицельно-наблюдательного комплекса БМ, так как именно оптические приборы (в составе СУО) как средства поиска и идентификации целей являются основным инструментом для эффективного применения систем и комплексов вооружения экипажами БМ.

Из сравнительного анализа состава и ТТХ СУО отечественных боевых машин и БМП стран НАТО можно сделать вывод, что в части базовых свойств огневой мощи западные образцы превосходят наши БМП-3 и БМД-4М, т. к. боевые информационные и управляющие системы этих объектов обладают более качественной оптикой (оптроникой), а также более широкими функциональными возможностями — разведывательно-поисковыми алгоритмами (принцип работы СУО "стрелок-охотник+" БМП "Пума", "Рысь") и интеграцией оптроники в единое информационное поле с танками и вертолётами огневой поддержки (система обнаружения и целеуказания (IBAS) БМП М2А3 "Бредли").



Структурные элементы огневой мощи образца БТТ

Необходимость установления паритета по основным показателям боевой эффективности бронееквивалентов вызвана текущей геополитической обстановкой, стягиванием группировок войск североатлантического альянса и наличием "серых зон" вокруг рубежей Российской Федерации [4].

Приоритеты повышения огневой мощи бронетанковой техники

В сложившейся обстановке повышение огневой мощи отечественного парка БТВТ нужно рассматривать как объективную необходимость, учитывающую и предполагающую дальнейшее развитие и совершенствование всех базовых свойств боевой эффективности. Однако на современном этапе развития танкостроения становится очевидным, что при повышении огневой мощи образца за счет увеличения калибра основного вооружения возникнет необходимость увеличения боевого отделения. Последнее повлечет за собой увеличение общей массы БМ, уменьшение внутреннего пространства, разработку более мощной силовой установки, трансмиссии и ходовой части соответственно. Все эти шаги неизбежно приведут к существенным затратам на разработку и производство фактически новой боевой машины.

Рассматриваемые ведущими специалистами танкостроения вопросы повышения огневой мощи за счёт большей информационной производительности прицельно-наблюдательного комплекса (ПНК) бронееквивалента, лучшей ситуационной осведомленности его экипажа о текущей тактической обстановке приведут к необходимости расширению поисково-ударных возможностей БМ. Ключевым в определении "поисково-ударных" является показатель, определяющий возможность первым выявить цель на поле боя, опознать её, определить характер возможных действий и, соответственно, определить необходимость (очередность) её огневой поражения с попутной реализацией дополнительного набора функциональных возможностей за счет алгоритмов технического зрения [5–7]. Из этого следует, что скорость и точность определения указанных параметров, возможность их автоматического перевода в исходные установки для стрельбы оказывают решающее влияние на способность выполнения экипажем БМ огневых задач в современном бою [8–10].

Модернизация СУО в целях создания гибкой модульной структуры ПНК, открытой для внедрения в её состав систем технического зрения (СТЗ), ситуационной осведомленности (СО),

дополненной реальности (ДР), способных информационно взаимодействовать с автоматизированной системой управления войсками (АСУВ), позволят обеспечить выполнение экипажами БТТ любых огневых задач в любых условиях обстановки за счёт быстрого действия комплексированных систем управления вооружением с сохранением возможностей для последующей их модернизации.

В странах НАТО основными разработчиками СУО комплексированных с СТЗ, СО и ДР, являются "Хонивел Аэроспэйс", "Рэйтиан" (США), немецкая "Рейнметал Дэфенз", "БАЕ Системз" (филиалы в США, Великобритании и Швеции) и "Элбит Системз" (Израиль) [11]. На международных выставочных мероприятиях последних лет этими производителями представлены возможные варианты модернизации СУО боевых машин и основных боевых танков путем интеграции в их состав вспомогательных программно-аппаратных комплексов, значительно расширяющих ситуационную осведомленность экипажей БТТ.

В нашей стране также ведутся научные исследования и практические работы по модернизации существующего парка боевых машин. Ведущими предприятиями в этой сфере являются АО "ВНИИ "Сигнал", АО СКБМ, АО "ЦНИИ "Буревестник", ЗАО "НТЦ "Элинс". Учеными оборонно-промышленного комплекса России ведется поиск путей повышения параметров боевой эффективности СУО БТТ за счет расширения программно-аппаратных возможностей ПНК, проводятся исследования по разработке способов и систем внешнего и внутреннего целеуказания (ВЦУ) с индикацией целей для образцов БТВТ для последующей интеграции БМ в единое информационное поле, повышения командной управляемости, огневой мощи и информационной производительности.

В ходе исследований, основанных на модернизации танкового прицельного комплекса, опробованные технические решения по расширению функциональных возможностей ПНК и повышению информационной производительности СУО боевой машины позволили получить:

- значительное сокращение времени работы экипажа (НО, КБМ) на поиск и обнаружение цели через приборы прицеливания и наблюдения;
- сокращение времени на передачу целеуказания на другие БМ, ОБТ подразделения или/и АСУВ и т. п.;
- возможность указывать непосредственно в полях зрения прицелов и приборов наблюдения не только цели, но и другие важные объекты, а

также районы сосредоточения войск противника, районы формирования и развертывания колон, места нахождения пунктов управления и прочую информацию о тактической обстановке;

- возможность проведения ВЦУ по объектам (целям), находящимся за пределами прямой видимости, которые обеспечивают экипажи необходимой информацией еще до выхода на огневой рубеж и, соответственно, преимущество при внезапном огневом контакте с противником [12].

Основой любой системы поражения и управления огнем являются её прицелы. Подавляющее большинство прицельных комплексов БМП, БМД и основных боевых танков представляют собой оптические приборы для работы в видимой части спектра, а также в ИК-диапазоне. При этом основой современных прицельных комплексов являются тепловизионные сенсоры (камеры), которые в зависимости от рабочего диапазона (3—12 мкм) позволяют производить обнаружение, распознавание и идентификацию пехоты на дистанциях до 6 км, боевой техники — до 10 км, вертолетов — до 14 км, а самолетов — до 18 км. СУО стран НАТО базируются на тепловизионных модулях длинного ИК-диапазона (8—15 мкм), а в СУО БМ отечественного производства используются тепловизионные модули среднего ИК-диапазона (3—8 мкм).

Тепловизионные модули среднего и длинного ИК-диапазонов имеют ряд преимуществ и недостатков. Каналы среднего ИК-диапазона имеют большую обнаруживательную способность контрастных целей, особенно на фоне неба при ясном дне, хорошей видимости или лунной ночью. В данных условиях в среднем ИК-диапазоне возможно реализовать систему с большей разрешающей способностью. Картина кардинально меняется в случае сложных или ограниченно сложных метеоусловий и при работе в холодное время года или при работе по низкоконтрастным целям. Тепловизионные модули длинного ИК-диапазона способны эффективно выполнять боевую задачу в направлении восхода и заката солнца, а также в сложных условиях применения при наличии дыма, пожаров и низкой видимости.

Отсутствие тепловизоров для бронетанковой техники, работающих в диапазоне волн 8—15 мкм, в современных условиях является недопустимым.

Представителями отечественного военно-промышленного комплекса, в частности ООО "Научно-производственное предприятие "Александр" (г. Рязань), реализуются проекты по созданию отечественного аналога тепловизора высокого

разрешения Катрин-ФС (Catherine FC) производства компании Талес Оптроникс (Thales_Optronics, Франция). Тепловизионные приборы, разработанные этим предприятием в инициативном порядке, предназначены для наблюдения и обнаружения целей днём и ночью, способны функционировать в полной темноте и при нулевой видимости. В качестве фотодетектора в этих изделиях используется охлаждаемая ПЗС-матрица размерностью 640×512 элементов, спектрального диапазона от 7,7 до 9,3 мкм с размером пикселя 15 мкм.

При наличии сравнимой по характеристикам элементной базы на первый план выходят алгоритмы обработки видеоизображений, поступающих от прицелов и сенсоров систем кругового обзора. Разработанные ООО "НПП "Александр" алгоритмы позволяют повысить разрешающую способность СУО в целом, а также увеличить дальность обнаружения и распознавания всех типов целей. Внедрение в состав СУО БМ тепловизионных модулей с такими характеристиками обеспечит потенциальное преимущество перед аналогичными системами объектов БТВТ стран НАТО.

Во всех без исключения случаях указывается необходимость расширения информационной производительности СУО, повышения ситуационной осведомленности экипажей БМ и, как следствие, повышения ПУВ и огневой мощи образца в целом. Основные направления концепции развития и совершенствования парка БТВТ нашей страны соответствуют требованиям и реалиям сложившейся геополитической обстановки, но проведенный анализ источников показывает, что несмотря на важность и необходимость решения этих научно-технических задач, вопросы повышения ситуационной осведомленности не обобщены и детально не рассмотрены.

Исходя из изложенного были сформулированы требования к перспективным направлениям развития облика БТВТ XXI века:

- в части огневой мощи — повышение поисковых и прицельных возможностей комплексов вооружения за счет введения в их состав каналов технического зрения и увеличения обзора за счет панорамных наблюдательно-прицельных систем; обеспечение автоматического обнаружения, распознавания и сопровождения цели до ее гарантированного поражения, обеспечение способности высокоточной стрельбы за пределами прямой видимости;

- в части командной управляемости — интеграция объектов БТВТ в информационно-управляющее поле единой системы управления

тактического звена за счет обеспечения цифрового информационного (формализованное управление подразделением и оружием) и речевого обмена [13].

На сегодняшний день ни одна из отечественных боевых машин (БМП-3, БМД-4М) не соответствует данным подходам в полном объеме. При рассмотрении вопросов загоризонтного поражения противника (стрельба с закрытых огневых позиций) из имеющихся на вооружении объектов БТВТ такая функциональная возможность реализована в боевой машине десантной БМД-4М производства АО "КБП" (г. Тула) [14]. Обеспечение поражения противника за пределами прямой видимости производится в специальном режиме работы СУО — режиме внешнего целеуказания (ВЦУ) и возможно только при наличии сигналов от спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС. При отработке алгоритма для стрельбы с закрытой огневой позиции (ЗОП) по ненаблюдаемому противнику необходима параллельная работа двух членов экипажа (командира боевой машины и наводчика-оператора) и только в автоматическом режиме работы СУО.

Функционирование любой боевой машины и её системы управления вооружением (СУО) как неотъемлемой её составной части будет происходить в условиях противодействия противника, когда элементы его боевого порядка будут стремиться сковать действия войск (сил) противника еще до начала боестолкновения в целях создания благоприятных условий для действий своих группировок. В соответствии с действующей концепцией применения сил НАТО в современных условиях силы и средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ) предусматривают тотальное подавление (искажение) сигналов связи, навигации и управления во всех периодах подготовки и непосредственного ведения боевых действий [15]. Следовательно, решение огневых задач по поражению противника с ЗОП из орудия-пусковой установки 2А70 БМД-4М в таких условиях становится фактически невозможным и требует поиска новых форм и способов получения топографических данных в ходе выработки необходимых исходных установок для стрельбы при строгих ограничениях по массе БМ.

Исходя из опыта боевого применения артиллерийских подразделений (САУ, САО) необходимо отметить, что топогеодезическая привязка позиций осуществляется с помощью:

- приборов на геодезической основе или по карте;
- автономной навигационной аппаратуры;

- радионавигационной аппаратуры (наземной аппаратуры космической навигационной системы) [5—10].

Соответственно привязка огневых позиций позволяет расчету (экипажу), выполнив определенный алгоритм с артиллерийской буссолью ПАБ-2М (другими специальными приборами), осуществить топографическую привязку огневой позиции БМ на местности различными способами либо использовать бортовую навигационную аппаратуру машин управления огнем артиллерии, оснащенных автоматизированными системами управления наведением и огнём (АСУНО). При создании комплексов автоматизированного управления огнём артиллерии с АСУНО топопривязка огневых позиций осуществляется за счет высокоточных помехоустойчивых бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Основным элементом АСУНО является самоориентирующаяся система гирокурсороуказания (ССГККУ), которая автоматически измеряет углы наклона орудия в трёх плоскостях, обеспечивая наведение и восстановление наводки орудия в процессе стрельбы, определяет ориентирное направление (азимут) дирекционной оси огневого средства и осуществляет хранение курсового угла при его движении (перемещении). Характерная и очень важная особенность данных ССГККУ — независимость и автономность их функционирования, т. к. использование данных от навигационных спутников систем GPS/ГЛОНАСС является вспомогательным процессом.

Внедрение таких дополнительных устройств в состав СУО БМД-4М не представляется возможным из-за строгого ограничения по массе десантируемого бронеобъекта. Для решения выявленной проблемы при рассмотрении вопроса эффективности стрельбы с ЗОП парашютно-десантными (десантно-штурмовыми) подразделениями и изучении конструктивных особенностей (состава) СУО БМД-4М были выявлены:

- структурные элементы, позволяющие проводить визуальную ориентацию на местности (от реперов, ориентиров) при помощи дальномерного и телевизионного каналов прицела командира (ПКП);
- отсутствующие необходимые для внедрения в состав СУО элементы, позволяющие хранить и обрабатывать полученную информацию, сопрягать её с электронной картой местности (графическим планшетом командира), оснащенные при этом специальными алгоритмами (программным обеспечением) для осуществления указанных процессов в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах для последую-

шей передачи данных в баллистический вычислитель и производства выстрела.

Наличие функциональной возможности у командира боевой машины уверенно оперировать имеющимися данными о тактической обстановке, управлять огнем боевой машины и своего подразделения в любых условиях — аксиома, не требующая доказательств. Необходимость внедрения в состав СУО боевых машин тактических (графических) планшетов помимо уже имеющихся видеосмотровых устройств ВСУ-К (Н) обусловлена не только их фактическим наличием в боевых машинах потенциального противника (БМП CV90, БМП M2A3, БМП Puma), но и необходимостью наличия мобильного устройства с точной электронной картой местности для наблюдения за тактической обстановкой, организации внутреннего и внешнего целеуказания, осуществления возможности работы командира БМ и управления огнём вне боевого отделения в различных условиях боевой обстановки [16].

Введение новых алгоритмов (способов) функционирования СУО БМД-4М, прицела командира ПКП позволит не только осуществлять наблюдение за полем боя, целеуказание и ведение огня по появляющимся целям, но и обеспе-

чит пространственную ориентацию БМ, а интегрированный в состав СУО графический (тактический) планшет позволит своевременно обрабатывать входящую информацию и, наложив ее на тактическую обстановку, оперативно выдавать исходные установки для производства эффективного огневого поражения целей.

Заключение

На основании изложенного интеграцию технического зрения в составе СУО следует рассматривать в качестве приоритетного направления, обеспечивающего:

- повышение и расширение ситуационной осведомленности экипажей БМ;
- расширение возможностей прицельно-наблюдательного комплекса при подготовке к ведению огня по противнику, в том числе и находящемуся за пределами прямой видимости;
- интеграцию СУО в АСУВ за счет возможности ведения, приёма и передачи внутреннего и внешнего целеуказания между бронеобъектами и другими элементами боевого порядка;
- повышение огневой мощи БМП, БМД, основных боевых танков.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Изергин Н. Д., Таров А. Г.** Оценка состояния технических объектов и их классификация методом парных сравнений // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 5. С. 164—168.
2. **Зарайский Д. А., Елистратов В. В., Изергин Н. Д., Алешина В. Ю.** Противостояние легкобронированной техники воздушно-десантных войск современным средствам поражения // Наука и военная безопасность. 2018. № 3(14). С. 16—22.
3. Методология обоснования тактико-технических требований к БТВТ — Огневая мощь // История военной техники. Железки.Ру: сетевой журнал. 2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zelezki.ru/articles/1548-.html> (дата обращения: 15.07.2020).
4. **Зверев Ю.** Военная инфраструктура НАТО в Польше — аналитическая записка. 2016 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://eurasia.expert/voennaya-infrastruktura-nato-v-polshe-analiticheskaya-zapiska/> (дата обращения: 17.08.2020).
5. **Чиров Д. С., Чертова О. Г., Потапчук Т. Н.** Методика обоснования требований к системе технического зрения робототехнического комплекса // Труды СПИИРАН. 2017. № 2(51). С. 152—176.
6. **Ларкин Е. В., Богомолов А. В., Антонов М. А.** Буферизация данных в системах управления роботами // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 9—1. С. 117—127.
7. **Макаренко В. Г., Богомолов А. В., Рудаков С. В., Подорожняк А. А.** Технология построения инерциально-спутниковой навигационной системы управления транспортными средствами с нейросетевой оптимизацией состава вектора измерений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 1. С. 39—44.
8. **Чиров Д. С., Хрипунов С. П.** Интеллектуальные методы распознавания тактических ситуаций в условиях автономного применения робототехнических комплексов военного назначения // Вопросы безопасности. 2017. № 1. С. 22—34.
9. **Ларкин Е. В., Богомолов А. В., Горбачев Д. В., Антонов М. А.** О приближении потока событий к пуассоновскому в цифровых системах управления роботами // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 9—1. С. 3—13.
10. **Макаренко В. Г., Подорожняк А. А., Рудаков С. В., Богомолов А. В.** Инерциально-спутниковая навигационная система управления транспортными средствами // Проблемы управления. 2007. № 1. С. 64—71.

11. Визуализация в бронетехнике // Военное обозрение: сетевой журнал. 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar.ru/151549-vizualizacija-v-bronetehnike.html> (дата обращения: 15.01.2020).

12. Кирнос В., Зубарь А., Кунаев И. Разработка способа и системы внешнего целеуказания с индикацией целей для образцов бронетанкового вооружения // Омский научный вестник. 2019. № 1(163). С. 62–66.

13. Маев С. Состояние и перспективы развития бронетанкового вооружения и военной техники, военной автомобильной техники Вооруженных Сил Российской Федерации // Сталь и огонь: современные и перспективные танки: сетевой журнал. 2000 [Электронный ресурс]. URL: <http://btvt.narod.ru/1/russia21.html> (дата обращения: 25.07.2020).

14. Ильин Л. Н., Дульнев П. А., Ковалёв В. Г., Муратханов А. С. Развитие функциональных свойств и технических средств семейства военных гусеничных машин тактического звена // Вестник Академии военных наук. 2010. № 3(32). С. 110–117.

15. Макаренко С. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войсках начала XXI века. — СПб.: Научно-технические технологии, 2017. С. 73–74.

16. Лихоманов К. А., Изергин Н. Д., Старков Р. В. Системы управления огнем современных боевых машин // Научный резерв. 2020. № 2(10). С. 57–66.

MODERN APPROACHES TO INCREASING THE FIREPOWER OF ARMORED VEHICLES

K. A. Likhomanov, N. D. Izergin, R. V. Starkov, V. S. Semyonov
Ryazan Guards Higher Airborne Command School, Ryazan, Russia

The article discusses the priority directions of improving the fire control system of combat vehicles in service with the leading armies of the world, including the introduction of technical vision technologies into sighting and observation systems. The tendencies of experimental design work on the modernization of the fire control system to increase the search and strike capabilities of the infantry fighting vehicles of NATO countries are characterized, the functional capabilities of firing from closed firing positions from the BMD-4M weapons are considered.

Keywords: fire control system, technical vision, technical vision system, optronics, sighting and observation complex, search and strike capabilities, situational awareness, improving search performance, thermal imager, firepower.

Bibliography — 16 references.

Received January 15, 2021

ПРОБЛЕМА РАЗРАБОТКИ КРИТЕРИЕВ ОТНЕСЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ К РАБОТАМ ВОЕННОГО, СПЕЦИАЛЬНОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М. М. Вологина, канд. эконом. наук

АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», г. Королёв, Московская обл., Россия

Проведен анализ критериев отнесения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР) к работам военного, специального и двойного назначения, содержащихся в проекте приказа "Об утверждении критериев отнесения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ к работам военного, специального и двойного назначения", подготовленного Федеральной службой по интеллектуальной собственности (Роспатент). Показана неопределенность предложенных в проекте приказа Роспатента формулировок критериев отнесения НИОКТР к работам военного, специального и двойного назначения. Сделаны выводы о необходимости дополнительного совершенствования механизма определения и подтверждения целевого назначения НИОКТР.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, государственный учет результатов интеллектуальной деятельности, научно-исследовательские работы, опытно-конструкторские и технологические работы, военное назначение исследований, специальное и двойное назначение исследований, критерии

В настоящее время в стране проходит масштабная работа по совершенствованию законодательства в области интеллектуальной собственности, затрагивающая практически все уровни системы управления интеллектуальной собственностью. Одним из основных направлений является государственный учет результатов интеллектуальной деятельности, права на которые принадлежат Российской Федерации. В целях повышения эффективности учета таких результатов вышло Постановление Правительства Российской Федерации от 7 октября 2021 г. № 1705 "О едином реестре результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального или двойного назначения и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации" (далее Постановление), которым были утверждены уточненные правила формирования и ведения реестра результатов научно-исследовательских и опытно-конструк-

торских работ, а также технологических работ военного, специального или двойного назначения (далее Правила) [1].

Согласно п. 3 Правил объектами государственного учета теперь будут "созданные в ходе выполнения финансируемых из федерального бюджета, а также Фондом перспективных исследований научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального и двойного назначения (далее работы) результаты интеллектуальной деятельности, в том числе непосредственно связанные с обеспечением обороны и безопасности, охраняемые в качестве изобретения, полезной модели, промышленного образца, секрета производства (ноу-хау), базы данных, топологии интегральных микросхем, программы для электронных вычислительных машин, селекционного достижения, "

Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент) предписано до 15 ноября 2021 г. "Утвердить по согласованию с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, критерии отнесения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ к работам военного, специального и двойного назначения" [1, п. 3].

В октябре 2021 г. предприятия оборонно-промышленного комплекса принимали участие в

Вологина Мария Михайловна, начальник отдела интеллектуальной собственности и научно-технической информации.

E-mail: oisnti@ktrv.ru

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2021 г.

© Вологина М. М., 2021

обсуждении подготовленного Роспатентом проекта Приказа "Об утверждении критериев отнесения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ к работам военного, специального и двойного назначения" (далее проект Приказа) [2], содержащего два пункта, которые приведены дословно в редакции проекта Приказа.

- Под научно-исследовательскими, опытно-конструкторскими и технологическими работами военного или специального назначения понимаются финансируемые из федерального бюджета, а также Фондом перспективных исследований исследования и разработки в области вооружений, военной и специальной техники, включая способы их применения по назначению, способы и средства их эксплуатации, а также технологии их производства и ремонта.

- Под научно-исследовательскими, опытно-конструкторскими и технологическими работами двойного назначения понимаются финансируемые из федерального бюджета, а также Фондом перспективных исследований исследования и разработки, выполняемые в целях создания продукции и (или) технологий, которые в соответствии с законодательством Российской Федерации относятся к контролируемым товарам и технологиям.

Обсуждение данного проекта приказа проходило в предельно сжатые сроки, но нашло живой отклик у предприятий. Рассмотрим примеры конкретных предложений, поступивших от предприятий, входящих в состав интегрированной структуры "Корпорация Тактическое вооружение". В целом предложения касались, с одной стороны, формулировок рассматриваемого проекта приказа, а с другой, — уровня документа, которым утверждались бы такие критерии.

В части формулировок предлагалось исключить источник финансирования из состава так называемых подкритериев для определения критерия отнесения работ к работам военного, специального и двойного назначения по причине противоречия п. 3 Правил, в котором указано, что для целей государственного учета принимаются во внимание результаты финансируемых из федерального бюджета и Фондом перспективных исследований НИОКТР военного, специального и двойного назначения. Другими словами, при выявлении результатов интеллектуальной деятельности, подлежащих государственному учету, необходимо определять НИОКТР, относящиеся к работам военного, специального и двойного назначения, из которых впоследствии отбирать НИОКТР, финансируемые из федерального бюджета и Фондом перспективных исследова-

ний, и рассматривать в качестве объектов государственного учета результаты интеллектуальной деятельности, созданные в ходе выполнения таких работ. Также предлагалось рассматривать отдельно каждый вариант назначения (военное, специальное и двойное) и отдельно по каждому направлению разрабатывать критерии отнесения к ним НИОКТР. Предлагалось дополнить "способы их применения по назначению, способы и средства их эксплуатации, а также технологии их производства и ремонта" [2, п. 1] способами утилизации.

Были пожелания конкретизировать понятия "вооружение", "военная техника", "специальная техника" как в части детерминирования, так и в части предоставления возможности пользования всем участникам НИОКТР, в том числе исполнителям и заказчикам, определенными перечнями продукции, которая определяется в проекте приказа как "вооружение", "военная техника" и "специальная техника". Например, согласно [3] вооружение определено как часть боевой техники, которая, в свою очередь, рассматривается как часть военной техники. О проблеме детерминирования таких назначений, как военное, специальное и двойное, говорит и В. В. Кудашкин: "Полный перечень продукции специального назначения, за исключением специальных технических средств, предназначенных для негласного получения информации, в настоящее время не установлен, что создает трудности при определении продукции, относящейся к специальной, но не являющейся продукцией военного назначения, либо относящейся и к специальной, и к военной продукции" [4].

В части вида нормативного документа по утверждению критериев отнесения НИОКТР к военному, специальному и двойному назначению предлагалось в том числе закрепить ответственность за определение и подтверждение целевого назначения НИОКТР в нормативном документе уровня не ниже Постановления Правительства РФ за конкретным ответственным лицом, например за уполномоченным органом исполнительной власти РФ или постоянно действующей экспертной комиссией, и разработать положение о порядке рассмотрения НИОКТР и отнесения их к определенному назначению. Аналогичный опыт существует в области военно-технического сотрудничества. Пунктом 21 Положения о порядке осуществления военно-технического сотрудничества Российской Федерации с иностранными государствами, утвержденного Указом Президента РФ [5] на основании федерального закона [6], предусмотрено, что "Отнесение товаров, а также информации,

работ, услуг, результатов интеллектуальной деятельности к продукции военного назначения и выдача соответствующих заключений осуществляются Федеральной службой по военно-техническому сотрудничеству в порядке, установленном этой Службой», что явилось основанием для разработки Порядка отнесения товаров, а также информации, работ, услуг, результатов интеллектуальной деятельности к продукции военного назначения и выдачи Федеральной службой по военно-техническому сотрудничеству соответствующих заключений, утвержденного Приказом ФСВТС России [7].

О проблеме отсутствия единых критериев оценки военного, специального и двойного назначения НИОКТР говорится и в пояснительной записке к проекту приказа: "В настоящее время отмечается различный подход к определению назначения выполняемых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (далее — НИОКТР). Неоднозначность отнесения видов НИОКТР к работам военного, специального и двойного назначения на практике порождает неэффективное использование результатов интеллектуальной деятельности, создаваемых в рамках таких работ. Таким образом, утверждение критериев

отнесения НИОКТР к работам военного, специального и двойного назначения позволит исключить имеющуюся неопределенность при определении вида НИОКТР. Проект приказа подготовлен с учетом правоприменительной практики ведения Роспатентом и государственными заказчиками Единого реестра, разделов Единого реестра и направлен на более эффективное использование сведений, содержащихся в Едином реестре" [2].

Подводя итоги обсуждения проекта приказа Роспатента [2], который к моменту опубликования настоящей статьи приобретет статус утвержденного документа, можно предположить, что даже при наличии понимания важности существующей проблемы отсутствия единых подходов к отнесению НИОКТР к работам военного, двойного и специального назначения в целях их государственного учета до момента создания рабочего механизма, удобного и понятного всем участникам управления результатами интеллектуальной деятельности, принадлежащими Российской Федерации, процесс разработки критериев отнесения НИОКТР к работам определенного назначения (военного, специального или двойного) претерпит еще не одну корректировку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 7 октября 2021 г. № 1705 "О едином реестре результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального или двойного назначения и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации".
2. Проект Приказа Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) "Об утверждении критериев отнесения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ к работам военного, специального и двойного назначения (подготовлен Роспатентом 27.09.2021)". www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PNPA&n=75951#jMa86oSQPjT5_rcnN1.
3. ГОСТ РВ 51540-2005 Военная техника. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2011.
4. Кудашкин В. В. Правовые основы военно-технического сотрудничества. В 3 т. Научно-практический комментарий к Федеральному закону "О военно-техническом сотрудничестве Российской Федерации с иностранными государствами". Т. 1. Изд. 3-е, перераб. и дополн. — М.: Статут, 2018. — 1120 с.
5. Указ Президента РФ от 10 сентября 2005 г. № 1062 "Вопросы военно-технического сотрудничества Российской Федерации с иностранными государствами".
6. Федеральный закон от 19 июля 1998 г. № 114-ФЗ "О военно-техническом сотрудничестве Российской Федерации с иностранными государствами".
7. Приказ ФСВТС России от 13.03.2015 № 20-од.

THE PROBLEM OF DEVELOPING CRITERIA FOR ATTRIBUTING RESEARCH, DEVELOPMENT AND TECHNOLOGICAL WORKS TO MILITARY, SPECIAL AND DUAL-USE WORKS

M. M. Vologina

Tactical Missiles Corporation JSC, Korolev, Moscow region, Russia

The article analyzes the criteria for attributing research, development and technological works (R&D) to military, special and dual-use works contained in the draft order "On approval of criteria for attributing research, development and technological works to military, special and dual-use works" prepared by the Federal Service for Intellectual Property (Rospatent). The uncertainty of the formulations of criteria for attributing R&D to military, special and dual-use works proposed in the draft order of Rospatent is shown. Conclusions are drawn about the need for additional improvement of the mechanism for determining and confirming the purpose of R&D.

Keywords: intellectual property, state registration of the results of intellectual activity, research work, development and technological work, military research purpose, special and dual purpose research, criteria.

Bibliography — 7 references.

Received November 12, 2021

Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2021. Вып. 4. С. 1—72.

Редактор *О. А. Константинова*

Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 24.11.2021.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,9. Уч.-изд. л. 8,2.

Тираж 250 экз. Заказ 1983.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,

Волоколамское ш., 77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 79379.