

ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС — научно-техническому прогрессу России



- МАШИНОСТРОЕНИЕ
- ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА
- ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ
ПРОИЗВОДСТВО
- СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ
И ИЗМЕРЕНИЯ



1 '2020



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 образования и науки 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: secretariat@ntkompas.ru

1 (145) ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС - научно-техническому прогрессу России

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1984 г.

Москва 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Полянский В. И. Концепция построения распределенной интеллектуальной системы поддержки принятия решений АСУ 3

Кабаков В. В. Информационное обслуживание и тестирование телекоммуникационных систем 6

Пителинский К. В., Александрова А. В. Смарт-контракты: принципы работы, преимущества и перспективы..... 9

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Попов И. П. Теоретические предпосылки создания мультиинертного осциллятора 15

Спирягин В. В. Исследование акустико-эмиссионных характеристик теплообменных труб, выполненных из меди марки МЗр..... 20

Овчинников Н. А., Григорьев Б. А. Плотность авиационных масел при атмосферном давлении 24

ИЗМЕРЕНИЯ. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Арсеньев В. Н., Дубинин Д. П. Метод повышения качества оценивания эффективности применения перспективных летательных аппаратов 27

Кондратенко В. С., Rogov A. Ю., Сакуненко Ю. И., Слепцов М. А. Применение сорбционных кабельных сенсоров для контроля протечек и прорывов пара в условиях локальных и протяженных объектов 34

Кириянов А. Ю. Техничко-экономический эффект внедрения в производство испытательных стендов для отбраковочных испытаний твердотельных СВЧ-модулей..... 43

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

Ларченков В. П. Эволюция конструктивно-технологического совершенствования беспилотных летательных аппаратов 47

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Артеменко И. В., Олешко В. С. Оценка экономической эффективности НИОКР по перспективным БПЛА 54

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. Обносов**, 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 658.012

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ АСУ

В. И. Полянский, д-р техн. наук

АО «Научно-исследовательский институт автоматической аппаратуры им. академика В. С. Семенихина», Москва, Россия

Предлагается использовать концепцию распределенной интеллектуальной системы. Концепция предусматривает объединение в единое целое трех элементов: собственно интеллектуальной системы (ИС), параллельной структуры и параллельного программирования. В результате исследований, проводимых в этом направлении, разработаны принципы построения и структура распределенной интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР), а также сформулированы критерии выбора формализмов и предложена формальная модель представления знаний в распределенной ИСППР.

Ключевые слова: база знаний, распределения системы, механизм логического вывода, модели постановки задачи, планирования, модель реализации плана.

Распределенность ИСППР обусловлена сложной структурой управляемых объектов, наличием в составе автоматических систем управления (АСУ) нескольких систем со своими встроенными органами управления. При этом предполагается, что между системами, входящими в АСУ, будет производиться и распределение составных частей ИСППР, а именно базы знаний (БЗн), механизма вывода решений, базы данных. Возможность такой реализации объясняется наличием в составе всех систем АСУ собственных управляющих вычислительных средств.

Основные принципы построения распределенной ИСППР сформулированы следующим образом:

- разделение ИСППР на отторгаемое "ядро" и инструментарий построения, испытания и сопровождения системы;
- построение ИСППР на многомашинной основе с использованием параллельного программирования;
- иерархическая структура ИСППР, предусматривающая наличие связей как между верхним и нижним уровнями, так и между АСУ на нижнем уровне.

Проводится разделение процесса обработки на экспресс-анализ и комплексный анализ

с соответствующим разделением базы знаний на два уровня и возможным делением БЗн комплексного анализа на несколько подуровней.

Структуризация БЗн предполагает выделение в ней предметных знаний о системах, входящих в состав АСУ, их свойствах и функциях, технологических знаний о методах обработки предметных знаний и целеполагающих знаний. Это предусматривает также распределение БЗн между системами АСУ — локальной (ЛБЗн) и центральной (ЦБЗн), играющей роль основного диспетчерораспределительного механизма функционирования объединенной БЗн.

Иерархическая структура АСУ определяет и иерархичность построения ИСППР. В основу данного тезиса положено распределение функций между центральной, управляющей ИСППР и ИСППР различных подсистем объекта. Предполагается, что центральная ИСППР возьмет на себя задачи формирования текущих целей функционирования АСУ и механизма сосредоточения — выбора блоков уместных знаний на основании технологии выполнения рабочих операций. В то же время ИСППР нижнего уровня будут выполнять функции предобработки поступающей информации и механизма вывода на предметных знаниях, на основании инструкций, полученных от ИСППР верхнего уровня [1].

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к ИСППР, являются:

- совместимость с существующими аппаратно-программными средствами АСУ;
- ориентированность на традиционную структуру построения систем, входящих в АСУ;

Полянский Владимир Иванович, профессор, советник по развитию генерального директора АО.
E-mail: dvpolsky@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 22 января 2020 г.

© Полянский В. И., 2020

- обеспечение принятия решений в режиме, близком к реальному времени;
- обеспечение необходимой достоверности принимаемых решений.

В соответствии с предложенной концепцией в распределенной ИСППР предполагается использовать трехслойную обработку знаний:

- формирование текущих целей функционирования АСУ на верхнем уровне;
- механизм сосредоточения — выбор блоков уместных знаний на среднем уровне;
- собственно механизм вывода на предметных знаниях на нижнем уровне [2].

Для этого необходимо использовать в ИСППР как минимум три информационные модели, обеспечивающие описание названных этапов, и одной модели, открывающей возможность распознавания и взаимного проникновения базовых моделей при преобразовании информации.

Если рассматривать информационные модели, применяемые в ИСППР, то конкретные типы знаний, которые будут содержаться в них, распределяются следующим образом.

Модель постановки задачи описывает внешнюю структуру предметной области (ПО) и ее объектов, образует синтаксический уровень ПО, оперирует правилами, по которым формулируются ее объекты и осуществляется преобразование введенных пользователем спецификаций в эти объекты.

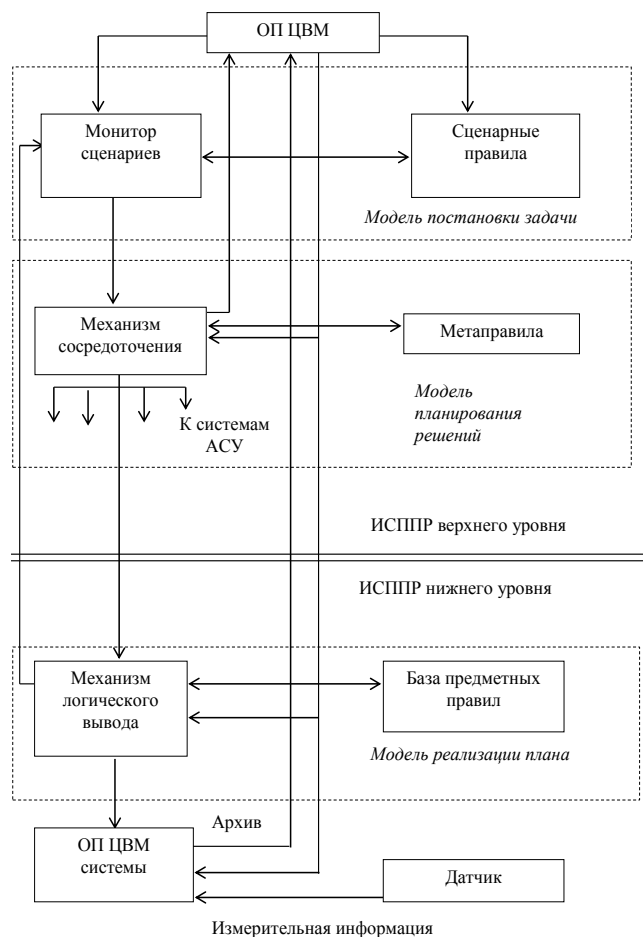
Модель планирования отражает функциональные зависимости между объектами ПО, содержит понятия, правила, взаимосвязи и определяет семантику решения задачи.

Модель реализации плана описывает внутреннюю структуру ПО и ее объектов, отражает их физический смысл и реализована с помощью фактов, оценок, эвристик, определяющих прагматическую составляющую.

Модель взаимодействия, используемая в качестве метамодели, описывает технологию применения функциональных моделей, образует организационный уровень и содержит стратегии принятия решений в этой области.

Верхний уровень ИСППР (см. рисунок) представлен в виде монитора сценариев, который в соответствии с технологическим графиком и сложившейся ситуацией формирует метациели. Метациели представляют собой множество текущих задач, решаемых АСУ. Обычно для решения этих задач необходимо задействовать не одну, а несколько подсистем АСУ. Монитор сценариев определяет необходимую рабочую конфигурацию оборудования АСУ для достижения метациели, а также статус метациели, в кото-

ром находят свое отражение важность решаемой задачи, сроки выполнения, необходимая степень уверенности в достижении цели и ресурсы, затрачиваемые при выполнении технологических режимов и операций. Метациели поступают на средний уровень обработки информации ИСППР — в механизм сосредоточения.



Взаимодействие информационных моделей ИСППР

Стратегии принятых решений при возникновении нештатных ситуаций распределяются по системам АСУ — нижнему уровню обработки информации в ИСППР и поступают в механизм логического вывода (МЛВ).

МЛВ определяет последовательность анализа сложившейся ситуации, т. е. формирует цепочку правил, последовательное применение которых является наилучшей стратегией по затратам времени, технических ресурсов, памяти процессоров и достоверности решения поставленной задачи. Эта цепочка формируется МЛВ на базе статистического материала, накопленного к моменту актуализации цели.

Таким образом, необходимость и возможность реализации ИСППР в рамках автоматизированной информационной системы (АИС) АСУ, а также основная идея построения распре-

деленной ИСППР — объединение в одно целое собственно ИСППР, параллельной структуры и параллельного программирования — не вызывают сомнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зацаринный А. А., Сучков А. Х.** Системотехнические подходы к созданию системы поддержки принятия решений на основе ситуационного анализа // Информатика и ее приложения. 2016. Т 10. Вып. 1. С. 106—108.
2. **Полянский В. И.** Техническое диагностирование автоматизированных систем управление подготовкой и пуском ракет космического назначения: учеб. пособ. — СПб: ВИКУ, 2002. — 303 с.

THE CONCEPT OF BUILDING A DISTRIBUTED INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM ACS

V. I. Polyansky

Stock Company "Research Institute for Automated Apparatus named after academician V. S. Semenikhin", Moscow, Russia

The concept of making a distributed intelligent decision support system for an automated control system is proposed. This concept provides for the integration of 3 elements into a single whole: intelligent systems (IS), parallel structures and parallel programming. Thus, as a result of the research, the principles of construction and structure (ISDIDSS) were developed, as well as the criteria for choosing formalisms were formulated and a formal model of knowledge representation in ISDIDSS was proposed.

Keywords: knowledge base, system distribution, logical inference mechanism, problem statement models, planning, plan implementation model.

Bibliography — 2 references.

Received January 22, 2020

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. В. Кабаков

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

Изучены процессы проведения информационного обслуживания и тестирования телекоммуникационных систем. Для достижения поставленной цели изучен имеющийся материал по данной тематике, рассмотрены характеристики процессов тестирования и обслуживания телекоммуникационных систем, изучены процессы тестирования и обслуживания телекоммуникационных систем с коммутацией каналов и пакетов. Гипотеза исследования: постоянное развитие телекоммуникационных систем требует модернизации и разработки новых методов их тестирования и обслуживания. Новизна работы заключается в систематизации первичных данных по теме исследования. Для решения поставленных задач использованы такие методы, как анализ, синтез, описание, обобщение. Показано, что ряд разработанных информационных методов можно применять при обслуживании и тестировании телекоммуникационных систем.

Ключевые слова: информационное обслуживание, тестирование, телекоммуникационные системы, ремонт.

Обслуживание произвольного процесса должно обеспечить эффективность управленческих данных, возможность их применения каждым сектором фирмы.

Возникает объективная необходимость создания информационной системы тестирования и обслуживания телекоммуникационной системы, главной структурной единицей которой выступает идентификация уровня качества на стадии производства. Любая система, которая должна выполнять обслуживание, а также тестирование произвольного процесса, должна гарантировать актуальность применяемых управленческих данных. Успех любой системы менеджмента качества фирмы зависит от того, насколько широким кругом данных, необходимых для выполнения своей деятельности, обладает фирма.

Исходя из изложенного, делаем вывод, что изучение вопроса информационного обслуживания и тестирования телекоммуникационных систем является весьма актуальным.

Характеристика процессов тестирования и обслуживания телекоммуникационных систем

Каждый оператор, управляющий телекоммуникационными системами, понимает всю важ-

ность использования наиболее эффективных способов мониторинга применяемого оборудования. Текущая экономическая обстановка ставит перед всеми предприятиями очень сложные задачи. Для их эффективного решения необходимо создавать новые способы контроля используемого оборудования. Все фирмы пытаются провести оптимизацию бизнес-процессов. Одновременно с этим необходимо уделять повышенное внимание качеству предоставляемых услуг, которое должно находиться на наивысшем уровне.

Важность уменьшения всех издержек и увеличение контроля над сетью определяется сложностью текущей ситуации, а также ростом конкуренции в области систем телекоммуникации на рынке за клиентскую базу. Большинство компаний проводит работы в таких направлениях, как:

- разработка и совершенствование структуры организации;
- использование способов тестирования и мониторинга систем телекоммуникаций, которые связаны с применением централизованного способа, а также телекоммуникационных систем, осуществляющих поддержку работы оператора, с помощью которых удастся создать ряд автоматизированных рабочих процессов [1].

Основным методом тестирования является проверка на правильность работы используемого протокола телекоммуникационной системы.

Кабаков Виталий Валериевич, заместитель начальника кафедры РВСН ВУЦ.
E-mail: ser-kvv73@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13 декабря 2019 г.

© Кабаков В. В., 2020

Чаще всего для этого используют такой известный язык, как TTCN. Регламентирующим документом в данной области выступает такой стандарт, как ISO 9646. Согласно ему каждая спецификация обязана содержать набор тестовых файлов, которые используют при проведении проверки. По причине узкой направленности данные тестовые комплексы относят к числу малодоступных. Обычно их нужно приобретать за деньги. Каждый тестовый комплекс имеет ряд определенных исходов, отвечающих в конечном итоге за выполнение конкретной функции. В качестве результата может быть получено три варианта значений.

Стоит отметить, что данного вида тестирования недостаточно для того, чтобы дать полные гарантии корректной работы, поскольку оно не включает проверку системы в рабочем режиме, а также проверку адекватности работы системы при любом из возможных исходов.

Проведение тестирования совместного функционирования выступает в качестве главного элемента проверки для операторов, которые отвечают за работоспособность телекоммуникационных систем различных фирм. Понятно, что должны быть созданы условия для правильной и эффективной работы элементов сетей различных изготовителей. Это может быть выполнено либо в определенных лабораторных условиях, либо в процессе работы [2].

Тестирование и обслуживание телекоммуникационных систем с коммутацией каналов и пакетов

Сложность существующих телекоммуникационных систем приводит к появлению большого количества функций. Для того чтобы осуществить их полное тестирование, необходимо затратить очень много времени и ресурсов. Это приводит к определенной систематизации процесса тестирования данных систем. Например, тестирование оборудования предыдущего поколения должно проходить выборочную проверку в целях проверки функциональности выполнения оборудованием старых функций. Данные проверки получили название регрессионных, а тестирование, соответственно, — регрессионного. После его проведения осуществляют проверку новых, добавленных функций систем. Указанный порядок проведения тестирования получил название функционального. Акцент при осуществлении данного варианта тестирования делается на проверке телекоммуникационной

системы при условии неправильной работы встречной системы.

Мониторинг телекоммуникационных систем выступает важной, финальной и самой длинной (по времени) операцией. Отметим, что при работе телекоммуникационных систем стоит проводить периодический (а лучше постоянный) мониторинг телекоммуникационных систем между элементами сети, которые находятся в работе. Благодаря его проведению становится возможным:

- обнаруживать ошибки при работе протоколов, которые не были найдены на более раннем тестировании;
- определять несанкционированный доступ к системе других пользователей;
- собирать данные о вызовах и транзакциях;
- обеспечивать трассировку вызовов;
- находить заикливание, которое встречается в сообщениях;
- контролировать источники и маршруты прохождения данных.

Телекоммуникационные системы осуществляют декодирование большинства поступающих данных, после чего проводится их проверка на соответствие используемому протоколу. Если получены ненужные сообщения, то их выделяют (обычно красным). Аналогичным образом построена работа при обнаружении перегрузок, в случае возникновения аварийных ситуаций и т. п. Для данных процедур на практике применяют специальные анализаторы. Указанные устройства выполняют достаточно широкий спектр задач по сравнению со своими аналогами, выполняющими мониторинг систем. Анализаторы, используемые в телекоммуникационных системах, имеют широкую систему фильтров, которые срабатывают по всевозможным критериям. Использование фильтров дает возможность выделять те полезные данные из огромной массы информации, которые являются интересными для пользователя [3].

Для проведения текущего обслуживания телекоммуникационных систем обязательно наличие в составе штата эксплуатационного персонала. Эти люди проводят ежедневные проверки систем телекоммуникации в соответствии со своей должностной инструкцией.

Планово-профилактическое обслуживание телекоммуникационных систем осуществляют до сезона гроз. При его выполнении проводят ревизию запасных устройств, необходимые испытания разрядников на пробой и определяют величину сопротивления линии.

Капитальный ремонт обычно осуществляют либо на заводе-производителе, либо на какой-то другой специальной фирме. При этом выполняют полную разборку телекоммуникационной системы с дальнейшей разработкой ведомости дефектов. Используя данный документ, все составные части можно разделить на части, которые:

- допускается применять повторно;
- допускается применять повторно после проведения ремонтных работ;
- должны быть утилизированы.

Регламентные работы производятся эксплуатационным персоналом в соответствии с утвержденным на год планом регламентных работ. Этот план составляют на основе эксплуатационной документации на данное оборудование. Регламентные работы производят совместно с какой-либо иной работой. В план регламентных работ входят текущее описание, инструкция по эксплуатации, паспорт либо формуляр [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Брейман А. Д. Сети ЭВМ и телекоммуникации. Глобальные сети: учеб. пособие. — М.: МГУПИ, 2006. — 117 с.
2. Гольдштейн Б. С., Рерле Р. Д., Ехриель И. М. Тестирование телекоммуникационных протоколов: проблемы и подходы // Сети и системы связи. 2002. № 12. С. 82—89.
3. Обслуживание смонтированных линий и оконечного оборудования абонентского доступа систем телекоммуникаций и информационно-коммуникационных сетей [Электронный ресурс]. Код доступа: https://studbooks.net/2366668/tehnika/tehnologiya_montazha_obs_luzhivanie_oborudovaniya_abonentskogo_dostupa#51 (дата обращения: 13.10.2019).
4. Технология монтажа и обслуживание оборудования абонентского доступа [Электронный ресурс]. Код доступа: https://studbooks.net/2366668/tehnika/tehnologiya_montazha_obs_luzhivanie_oborudovaniya_abonentskogo_dostupa#51 (дата обращения: 13.10.2019).

INFORMATION SERVICE AND TESTING OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS

V. V. Kabakov

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

The purpose of the article is to study the processes of information maintenance and testing of telecommunication systems. To achieve this goal, the following tasks were solved: to study the available material on this topic; to consider the characteristics of the processes of testing and maintenance of telecommunication systems; to study the processes of testing and maintenance of telecommunication systems with switching channels and packages. Research hypothesis-continuous development of telecommunication systems requires modernization and development of new methods of testing and maintenance. The novelty of the work lies in the systematization of primary data on the research topic. To solve the tasks in the article such methods as analysis, synthesis, description, generalization are used. The result of the study is as follows: it was shown that currently a number of information methods have been developed that can be used in the maintenance and testing of telecommunication systems.

Keywords: information service, testing, telecommunication systems, repair.

Bibliography — 4 references.

Received December 13, 2019

Заключение

Вопрос обслуживания и тестирования систем телекоммуникаций возник в момент появления телекоммуникаций. В условиях конвергенции телекоммуникационных сетей данная задача обретает огромную важность. Большое количество сетей и постоянно возрастающее количество связей между ними обусловлены как ростом количества сетевых операторов, которые предлагают примерно эквивалентный перечень услуг, так и с разработкой таких сетей, как VoIP, GSM и т. п.

В связи с этим становятся актуальными вопросы проведения своевременного и качественного обслуживания и тестирования телекоммуникационных систем. Несмотря на то что данной проблеме уделяется достаточно большое внимание, до сих пор не существует универсального метода для проведения соответствующих операций. В результате изучением указанной проблемы занимаются многие научные лаборатории мира.

УДК 004.388:51-7:519.6

СМАРТ-КОНТРАКТЫ: ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ

К. В. Пителинский, канд. техн. наук; *А. В. Александрова*
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

Изучаются понятие смарт-контракт, принципы его использования и сферы применения, а также его преимущества и недостатки. На основе проведенного анализа делается вывод о перспективности широкого применения смарт-контрактов в цифровой экономике.

Ключевые слова: блокчейн, смарт-контракты, контракт, электронная коммерция, криптовалюта.

Технологическим пакетом называют взаимосвязанную и взаимодействующую совокупность технологий, позволяющих получить конечный продукт, удовлетворяющий запросы потребителя. Каждый технологический пакет имеет свою замыкающую технологию — технологию, интегрирующую разнородные технологии воедино и создающую с их помощью продукт. Закрывающая технология тем значимее, чем более важен для социоэкономической системы данный технологический пакет.

Закрывающие технологии — технологические пакеты, позволяющие полно удовлетворить различные потребности значительно эффективнее (во всех отношениях), чем это позволяют уже существующие технологические пакеты. Подобные технологии разрушают сложившийся технологический уклад, отчего они, кроме их конечных потребителей, никому категорически не нужны, поскольку девальвируют сложившуюся структуру капитала (начиная с основных производственных фондов и заканчивая умениями и навыками персонала), что влечет турбулентные изменения в экономике, а далее и в политике. Закрывающие технологии являются двойными, поскольку (помимо своего явного назначения удовлетворять определенные потребности) они служат мощным оружием нового поколения, основанным на методологии изобретения изобретений — главном приоритете теории управления [1].

Пителинский Кирилл Владимирович, доцент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: yekadath@gmail.com

Александрова Алина Викторовна, студент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: aa460853@gmail.com

Статья поступила в редакцию 26 декабря 2019 г.

© Пителинский К. В., Александрова А. В., 2020

Научно-технический прогресс неуклонно движется вперед. За минувшие четверть века произошло значительное развитие информационных технологий, которые явно влияют на повседневную жизнь людей, на методы ведения бизнеса, а также содействуют возникновению и применению электронной коммерции.

Проводятся многочисленные исследования, разработки и внедрения инновационных технологий, которые имеют высокий шанс изменить мир, как это ранее сделал Интернет. Примером одной из подобных закрывающих технологий можно считать технологию блокчейн. От внедрения технологии блокчейн приобретут развитие такие сложно реализуемые ранее идеи и концепции, как Интернет вещей, экономика совместного потребления, смарт-контракты и т. д. Одной из таких идей, а именно смарт-контрактам, принципам их работы, преимуществам и перспективам, посвящена данная работа.

Понятие смарт-контрактов

Смарт-контракты ("умные контракты") — компьютерные программы, которые отслеживают и гарантируют выполнение установленных обязательств и договоренностей. Партнеры по реализации бизнес-процесса прописывают в них условия и требования сделки, наказание за их неисполнение и заверяют договоренности своей цифровой подписью. Программное обеспечение смарт-контрактов само проверяет, все ли формальные требования выполнены, оставляет за собой право провести сделку и предоставить ее участникам требуемую информацию, наложить на партнеров штраф (взыскание или пени), а также закрыть доступ к активам.

Другими словами, смарт-контракты — операция, сделка, проводимая посредством технологии блокчейн, требования которой нельзя нару-

шить. Все условия контракта предварительно прописывают в соглашении между партнерами. Затем следует проверка выполнения заданных требований. В случае выполнения всех условий сделка считается проведенной. Если была допущена какая-либо ошибка или один из партнеров не выполнил договоренности, то проведенная сделка аннулируется.

Говоря о самом понятии смарт-контрактов, стоит отметить, что первое упоминание данного термина сделано в статье американского ученого-криптографа Ника Сабо, опубликованной в 1994 г. В ней дано определение смарт-контрактов как "компьютеризированных транзакционных протоколов, которые исполняют условия договора" [2].

Согласно Сабо, самоисполняющиеся смарт-контракты должны в первую очередь выполнять установленные в договоре требования, снижая этим число ошибок и погрешностей, обусловленных человеческим фактором. Смарт-контракты должны помочь освободить общество от посредников, которые каким-либо образом участвуют в выполнении и обеспечении договоренностей и наживаются на этом. Кроме того, Сабо полагал, что с возникновением смарт-контрактов почти пропадут и различного рода мошеннические операции.

Оригинальным примером прообраза смарт-контракта является автомат продаж товаров. Человек оплачивает товар, опустив деньги в автомат, который выдает оплаченный товар. Подобное взаимодействие — операция, предполагающая приобретение продукта за определенную цену. Отличие такой сделки от традиционных договоров заключается в том, что аппарат без посторонней помощи осуществляет выполнение сделки: если оплата выполнена, система выдает продукт.

Принцип работы смарт-контракта

Технология блокчейн позволяет устранить ненужных посредников, что упрощает реализацию бизнес-процессов (рис. 1).

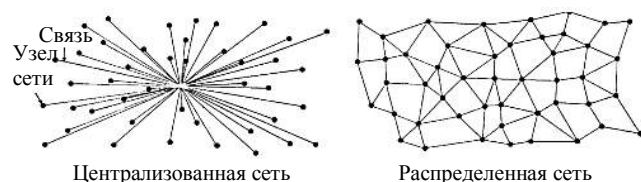


Рис. 1. Отличия централизованной сети от блокчейн

При использовании технологии блокчейн невозможно подменить предоставляемую информацию. Также следует отметить, что каждый договор — особая инвариантная компьютерная программа. Поэтому ни один человек не может отправить отчет задним числом, поскольку это будет сразу заметно.

Опишем принцип работы смарт-контрактов, отметив, что в целом по своему принципу работы система смарт-контрактов подобна технологии блокчейн (см. рис. 2).

Шаг	Действия
1	Составляют договор, который загружается в автоматизированную систему для выполнения транзакции
2	Договор отправляют в информационно-коммуникационную сеть
3	Договор проверяют узлами ПК, составляющих большую сеть компьютеров, которые подключены к системе
4	Если все условия верны, система одобряет статус и проведение транзакции
5	Программное обеспечения, которое лежит в основе смарт-контрактов, отслеживает корректность выполнения операций
6	После проведения транзакции условия договора остаются в автоматизированной системе
7	Если все операции выполнены верно, обе стороны приобретают то, что прописано в договоре
8	Смарт-контракт считается выполненным
9	При необходимости разорвать текущий договор и составить новый сначала формируют новую запись о разрыве, а потом новый договор в блокчейне

Рис. 2. Принципы работы смарт-контракта

Рассмотрим следующий пример. Покупатель желает приобрести товар и рассчитаться денежными средствами. Все это подробно прописано в договоре. После выполнения транзакции средства покупателя остаются в автоматизированной системе и он уже не может на это повлиять. Покупателю продают товар (услугу), который также остается в системе. Если все действия выполнены верно, покупатель получает товар (услугу), а продавец получает денежные средства.

Достоинства и недостатки смарт-контрактов

Смарт-контракт, как и любой продукт, имеет свои преимущества и недостатки, основные из которых указаны в табл. 1 и 2 [3, 4].

Таблица 1

Сравнение контрактов — особенности и инструментарий

Смарт-контракт	Обычный контракт
Виртуальные документы	Бумажная версия документа
Хранится в блокчейне	Основана на праве
Машинный язык	Юридический язык
Безопасно и без посредников	Посредники, риск обмана
Криптовалюта	Обычные деньги

Таблица 2

Достоинства и недостатки смарт-контрактов

Достоинства	
Надежность	Все документы многократно продублированы по технологии блокчейн
Независимость	Не требуются специалисты для заключения сделки
Открытость	Публичность, необходимая многим финансовым областям. Данные одновременно хранятся на многих компьютерах, поэтому полностью уничтожить их невозможно
Безопасность	Контракт хранится в зашифрованном виде в распределенном реестре
Экономия ресурсов	Не нужны услуги посредников, что экономит время и деньги
Простота	Не требуется заполнять вручную множество форм с рисками допустить ошибки и потратить лишнее время
Скорость	Обработка документов вручную занимает большое количество времени, а также тормозит выполнение задач. Смарт-контракты обеспечивают автоматизацию бизнес-процессов и в основном не требуют участия человека, что также экономит время
Недостатки	
Слабое правовое регулирование	В международно-правовой сфере пока отсутствуют нормативные понятия "блокчейн", "смарт-контракт" и "криптовалюты". На рассмотрении Госдумы РФ находятся два соответствующих законопроекта (№ 424632-7 и 419059-7), но пока они не приняты и на практике могут возникать правовые вопросы
Шаблонность	Смарт-контракты могут функционировать только в простых случаях, когда в реализуемых договорах есть предварительно установленные и формализованные требования, от которых нельзя отступать
Сложность реализации	Интеграция смарт-контрактов в реальную экономику часто занимает большое количество времени, средств и усилий

Смарт-контракты — технология, кардинально меняющая будущее, но пока не сформированная окончательно. Законодательное регулирование — основная проблема, которую необходимо решить для активного применения на практике смарт-контрактов. Компании, участвующие в разработке блокчейн-проектов, никак не влияют на государство и генерируемые им законодательные акты. Поэтому и остается надеяться, что через некоторое время власти придут к решению, что блокчейн-сфера — территория будущего и источник роста экономики.

Отметим некоторые отличительные особенности, которые мешают распространению смарт-контрактов. Для оплаты по смарт-контрактам может приниматься только криптовалюта, имеющая хождение в рамках определенной платформы блокчейна. Конечно, существуют и платформы, позволяющие произвести обмен криптовалюты на обычные деньги, но это не всегда удобно для практики бизнеса. Кripto-

валюты пока официально не признаны в РФ, отчего процедуры с ними считают высокорискованными. Большая часть организаций РФ отдает предпочтение обычным деньгам, поскольку счета могут быть легко заблокированы. Это также мешает развитию смарт-контрактов.

Если говорить о мировой практике, то, например, в Японии рынок блокчейна является одним из самых стремительно растущих. По некоторым данным правительство Японии намеревается вкладывать в блокчейн 450 млн долл., а криптовалюту считают официальным и законным способом платежа. В частности, за несколько прошлых лет в Японии лицензировали 11 крупнейших криптовалютных бирж.

Возможные перспективы смарт-контрактов

Возможные сферы применения смарт-контрактов сведены в табл. 3.

Перспективы смарт-контрактов

Сфера применения	Возможности
Электоральная система	Смарт-контракты и технология блокчейн позволяют гарантировать прозрачные и достоверные выборы, итоги которых нельзя подделать. По этой причине некоторые государства собираются в будущем ввести эту прогрессивную концепцию в процедуру выборов. В штате Вирджиния (США) районные власти для получения электорального опыта уже предоставили возможность некоторым гражданам отдать свои голоса методом использования технологии блокчейн-приложения (например, военнослужащим, которые не имеют возможности прибыть на голосование)
Авторское право	Использование смарт-контрактов для регистрации авторского права и оформления патента всецело исключит кражу интеллектуальной собственности и подделку документов при получении патента на новейшие технологии и продукцию. Для полной адаптации к реальным условиям требуется серьезная доработка концепции смарт-контрактов (в частности, для повышения ее безопасности, а также чтобы она не требовала привлечения высококлассных программистов). Кроме того, требуется партнерство с государственными регуляторами, улучшающими законодательную основу для заключения контрактов по технологии блокчейн
Недвижимость	Смарт-контракты дают возможность автоматически выполнять обычные операции, характерные для операций с недвижимостью (лизинг, оплата ипотеки, приобретение и продажа квартир и т. д.). К примеру, при аренде может быть использована блокировка дверей, если арендатор своевременно не произведет оплату. Такой же метод может быть применен к приобретенному в ипотеку имуществу
Образование	Смарт-контракты не только ликвидируют вероятность фальсификации дипломов, но и способствуют более качественному и дешевому обучению. Взаимодействие между педагогом и обучающимся ведется напрямую. Кроме того, учащиеся могут оставить отзыв или рецензию после завершения обучения, отчего имидж педагога будет жестко закреплён в системе блокчейн. Блокчейн-обучение полезно и для работодателей, поскольку они в любой момент могут получить информацию о деятельности своего потенциального сотрудника. Концепция обучения, основанная на блокчейне, уже реализована в онлайн-платформе Ntok
Кибер-безопасность	Защита информации, циркулирующей в информационно-коммуникационных сетях, за весь период их существования остается одной из наиболее сложных практических проблем. Учитывая, что массив подлежащих обработке данных каждый день растет, предоставление услуг качественной кибер-безопасности стало насущной потребностью. Технология блокчейн и смарт-контракты позволяют решить эту проблему: с их помощью отправляемые адресату сведения будут защищены по требованиям модели CIA (т. е. их будет невозможно перехватить, модифицировать, удалить), они будут целостны и доступны. Технология блокчейн и смарт-контракты позволяют создать онлайн-хранилища, плата за использование которых будет низкой, а сведения будут находиться в более безопасном месте благодаря применению методики распределенного реестра. Примером могут служить облачные хранилища, доступ к которым обеспечивает, например, приложение Storj [5]

Обзор ПО, предназначенного для реализации смарт-контрактов

Система Sia, США (<https://sia.tech/>). Сеть Sia (рис. 3) ориентирована на безопасность, приватность и интеграцию данных.



Рис. 3. Диалоговое окно системы Sia

Пользователи сети могут хранить в ней свою информацию (на дисках других пользователей) или предоставлять свое дисковое пространство для хостинга [6]. Перед отправкой в сеть файлы сначала шифруют и разбивают на блоки. В таком виде данные распределяются по 40 разным хостам, причем в системе для минимизации вероятности их потери реализовано избыточное копирование. Общее количество активных хостов 275. Хосты есть и в нескольких городах РФ и Украины. Внутренней расчетной единицей в сети является криптовалюта Siacoin, 1 Тб — 2 долл. (1000 Siacoin), размещение 1 Тб на своей стороне — 1 долл. (500 Siacoin) в месяц.

Система Storj, США (<https://storj.io/>). Безопасность системы Storj (рис. 4) заложена в самой технологии хранения. Данные делятся на мелкие блоки, которые распределяются по всем узлам

сети. Каждый такой блок файла шифруют отдельно. Собрать файл воедино никто (кроме владельца, имеющего приватный ключ) не сможет. В системе используют два вида участников: арендаторов, которые хранят свою информацию, и операторов, которые предоставляют свои мощности для хранения части чужой информации. Storj сообщает, что у них уже 19 000 операторов и 20 000 арендаторов. В среднем стоимость использования хранилища Storj равна 1,47 долл. (10 Storj) за 100 Гб при полной загрузке предоставляемого пространства.

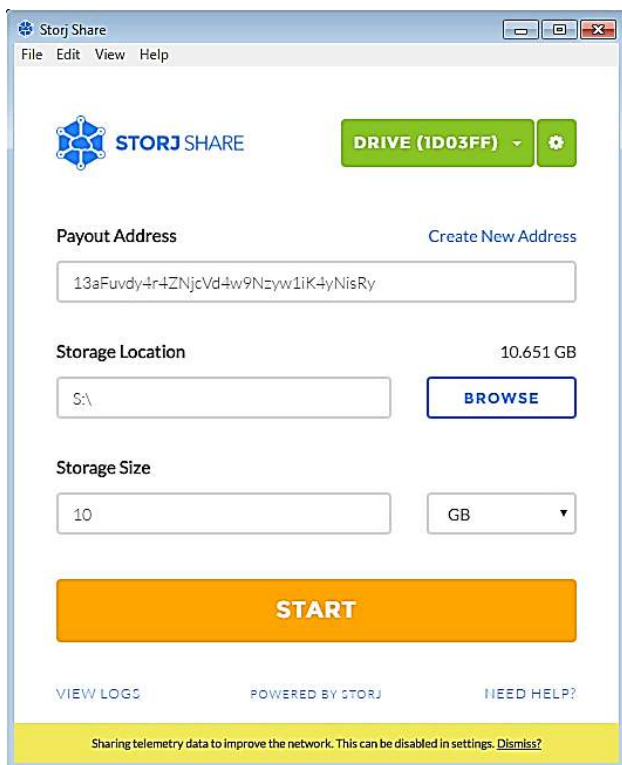


Рис. 4. Диалоговое окно системы Storj

Система Amazon Glacier, США (<https://aws.amazon.com>). Данная система (рис. 5) предоставляет пользователям широкие функциональные возможности (в том числе по обеспечению требований безопасности и по соблюдению законодательных требований). Она имеет лучшие по сравнению с аналогами показатели производительности, масштабируемости, доступности и надежности, обладает инструментарием управления для обеспечения точного управления и мониторинга данных.

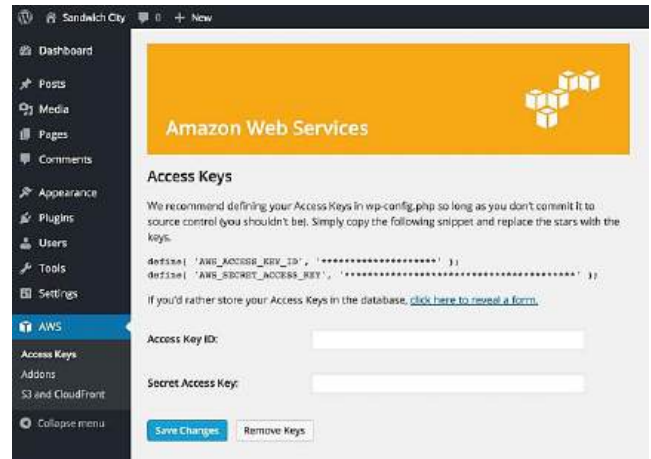


Рис. 5. Диалоговое окно системы Amazon Glacier

Amazon Glacier предоставляет сервис облачного хранения с удобными сервисами поддержки. Используют сеть серверов CloudFront, состоящую из 17 серверов (непосредственно в РФ серверов нет). Сервис предоставляет клиенту 10 Гб бесплатно. Если пользователь загружает более 10 Гб, он обязан платить за каждый гигабайт 0,004 долл. в месяц.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что смарт-контракты — оригинальная концепция, которая в перспективе способна радикально поменять стиль жизни и социоэкономическое окружение людей. Технология блокчейн и смарт-контракты имеют большие перспективы, поскольку это ноу-хау можно использовать повсеместно. Из-за универсальности и неограниченных возможностей смарт-контракты интересны не только отдельным фирмам и разработчикам, но и правительствам.

Очевидно, что смарт-контракты заслуженно признают в качестве грядущей замены нотариусов и иных посредников-делопроизводителей. С их помощью будут быстрее и качественнее проводиться различные операции, на проведение которых сейчас требуется несколько дней. К сожалению, процесс внедрения смарт-контрактов в РФ задерживает тот факт, что статус криптовалют юридически официально не определен. Однако после создания необходимой законодательной базы (как в Британии, Испании, Германии, Японии) ситуация на рынке финансовых технологий должна улучшиться [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пителинский К. В. Цифровое средневековье, интернет вещей и 3D-технологии // Вестник московской международной академии. 2016—2017. № 2. С. 264—269.
2. Сабо Н. Смарт-контракты [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html> (дата обращения: 27.10.2019).
3. Что такое смарт-контракты простым языком [Электронный ресурс]. URL: <https://prosto-coin.com/blog/smart-contract> (дата обращения: 25.10.2019).
4. Что такое смарт-контракты? [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/448056/> (дата обращения: 25.10.2019).
5. Что такое смарт-контракты, где можно их применять и причем тут блокчейн [Электронный ресурс]. URL: <https://tproger.ru/blogs/smart-contracts/> (дата обращения: 23.10.2019).
6. Sia — распределенное облачное хранилище на блокчейне [Электронный ресурс]. URL: <https://hitecher.com/ru/articles/sia-the-distributed-cloud-storage-on-blockchain> (дата обращения: 13.11.2019).
7. Смарт-контракты в блокчейне. Что это и как работает? [Электронный ресурс]. URL: <https://2bitcoins.ru/smart-kontrakty-v-blokchejne-cto-eto-i-kak-rabotaet/> (дата обращения: 25.10.2019).

SMART CONTRACTS: PRINCIPLES OF WORK, ADVANTAGES AND PROSPECTS

K. V. Pitelinsky, A. V. Alexandrova
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

We study the concept of a smart contract, the principles of its use and scope, as well as their advantages and disadvantages. Based on the analysis, it is concluded that the widespread use of smart contracts in the digital economy is promising.

Keyword: blockchain, smart contracts, contract, e-Commerce, cryptocurrency.

Bibliography — 7 references.

Received December 26, 2019

УДК 534.014

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ МУЛЬТИИНЕРТНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

И. П. Попов

Курганский государственный университет, г. Курган, Россия

Рассматривается механическая колебательная система с однородными элементами, а именно с n массивными грузами (мультиинертный осциллятор). Показана возможность возникновения в такой системе свободных гармонических колебаний грузов. В отличие от классического пружинного маятника, колебания которого обусловлены взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины, в мультиинертном осцилляторе колебания обусловлены взаимным преобразованием только кинетических энергий грузов. При этом ускорение одних грузов происходит за счет торможения других. Особенностью мультиинертного осциллятора является то, что частота его свободных колебаний не фиксирована и определяется преимущественно начальными условиями. Эта особенность может оказаться весьма полезной для технических приложений, например для самонейтрализации механической реактивной (инерционной) мощности в колебательных системах.

Ключевые слова: осциллятор, инертный, гармонический, реактивность, пространственный сдвиг, фазовый сдвиг, кинетическая энергия.

Свободные гармонические колебания классического маятника обусловлены взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины [1, 2]. Разработаны осцилляторы с другим характером энергообмена, например преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля соленоида [3] или энергию электрического поля конденсатора [4]. Все эти колебательные системы и подобные им [5, 6] явились предпосылкой создания биинертного осциллятора [7], в котором ускорение одного груза происходит за счет торможения другого, т. е. происходит обмен только кинетическими энергиями.

Цель работы — моделирование мультиинертного осциллятора.

Синтез колебательной системы

Пусть в плоскости Z имеются не две, а n координатных осей Ox_1, Ox_2, \dots, Ox_n , образующих центрально-симметричную звезду с центром в

точке O . Угол между осями составляет π/n . Из начала координат O отложен вектор \mathbf{R} . Направление вектора произвольно, $\mathbf{R} \subset Z$.

Теорема 1.

1. Отрезки, соединяющие координаты x_1, x_2, \dots, x_n вектора \mathbf{R} в системе координат Ox_1, Ox_2, \dots, Ox_n , образуют правильный n -угольник.

2. Размер n -угольника не зависит от ориентации вектора \mathbf{R} .

3. Середина вектора \mathbf{R} совмещена с центром n -угольника.

Доказательство. Вектор \mathbf{R} имеет координаты

$$x_1 = R \cos \varphi; \quad (1)$$

$$x_2 = R \cos \left(\frac{\pi}{n} - \varphi \right);$$

$$x_3 = R \cos \left(\frac{2\pi}{n} - \varphi \right);$$

...

$$x_i = R \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right];$$

...

$$x_n = R \cos \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \varphi \right]. \quad (2)$$

Попов Игорь Павлович, старший преподаватель кафедры "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты".

E-mail: ip.porow@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 21 января 2020 г.

© Попов И. П., 2020

В соответствии с теоремой косинусов

$$\begin{aligned}
 (x_i x_{i+1}) &= R^2 \left\{ \cos^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] + \cos^2 \left(\frac{i\pi}{n} - \varphi \right) - \right. \\
 &\quad \left. - 2 \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] \cos \left(\frac{i\pi}{n} - \varphi \right) \cos \frac{\pi}{n} \right\} = \\
 &= R^2 \left\{ \cos^2 \left(\frac{i\pi}{n} - \varphi - \frac{\pi}{n} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \left(\cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi + \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \right)^2 - \right. \\
 &\quad \left. - 2 \left[\cos \frac{\pi}{n} \left(\cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi + \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \right) + \right. \right. \\
 &\quad \left. + \sin \frac{\pi}{n} \left(\sin \frac{i\pi}{n} \cos \varphi - \cos \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \right) \right] \times \\
 &\quad \times \left(\cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi + \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \right) \cos \frac{\pi}{n} \Big\} = \\
 &= R^2 \left(\cos^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \varphi + \right. \\
 &\quad + \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \varphi + \sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \varphi + \\
 &\quad + \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \varphi + \\
 &\quad + 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi + \\
 &\quad + 2 \cos \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \cos^2 \varphi \sin \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} - \\
 &\quad - 2 \cos \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos \varphi \sin \frac{\pi}{n} \sin \varphi + \\
 &\quad + 2 \cos \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \sin \frac{\pi}{n} \cos \varphi - \\
 &\quad - 2 \cos \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \sin^2 \varphi \sin \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} - \\
 &\quad - 2 \sin^2 \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \cos \varphi \cos \frac{i\pi}{n} \sin \varphi + \\
 &\quad + \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \varphi + \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \varphi + \\
 &\quad + 2 \cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi - \\
 &\quad - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \varphi - \\
 &\quad - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi - \\
 &\quad \left. - 2 \sin \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \cos^2 \varphi \cos \frac{i\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n} + \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 2 \sin \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \sin \varphi \cos \varphi \cos \frac{\pi}{n} - \\
 &- 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \cos \varphi \sin \frac{i\pi}{n} \sin \varphi - \\
 &\quad - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \varphi - \\
 &- 2 \sin \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \cos \varphi \sin \varphi \cos \frac{\pi}{n} + \\
 &+ 2 \sin \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \sin^2 \varphi \sin \frac{i\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n} \Big) = \\
 &= R^2 \left[\cos^2 \varphi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} - \right. \right. \\
 &\quad \left. - \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} + \cos^2 \frac{i\pi}{n} \right) + \\
 &\quad + \sin^2 \varphi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} - \right. \\
 &\quad \left. - \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{i\pi}{n} \right) \Big] = \\
 &= R^2 \left[\cos^2 \varphi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \sin^2 \varphi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \right) \right] = \\
 &= R^2 \left[\cos^2 \varphi \sin^2 \frac{\pi}{n} \left(\sin^2 \frac{i\pi}{n} + \cos^2 \frac{i\pi}{n} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \sin^2 \varphi \sin^2 \frac{\pi}{n} \left(\cos^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{i\pi}{n} \right) \right] = \\
 &= R^2 \left(\cos^2 \varphi \sin^2 \frac{\pi}{n} + \sin^2 \varphi \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) = \\
 &= R^2 \sin^2 \frac{\pi}{n} (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = R^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}.
 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что все стороны n -угольника одинаковы по длине. При этом их длина не является функцией φ , т. е. не зависит от ориентации вектора \mathbf{R} .

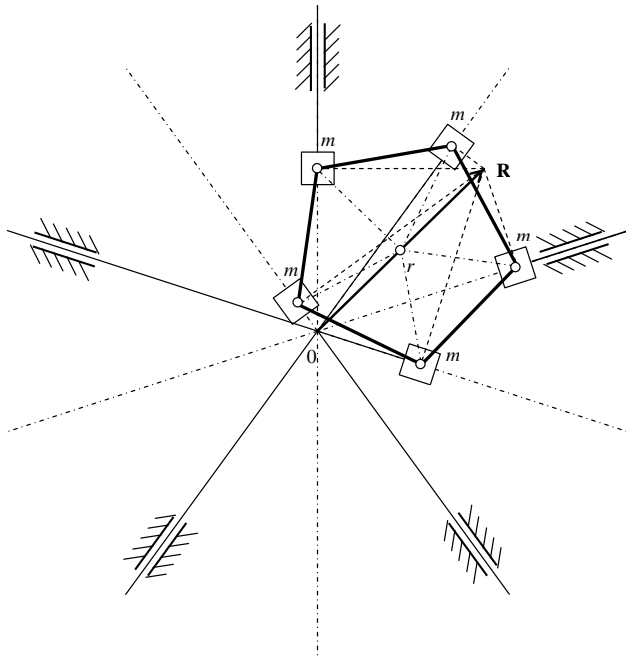
Далее середину вектора \mathbf{R} обозначим через r . В соответствии с теоремой косинусов

$$\begin{aligned}
 (x_i r)^2 &= R^2 \left\{ \cos^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] + \frac{1}{4} - \right. \\
 &\quad \left. - 2 \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] \frac{1}{2} \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] \right\} = \frac{R^2}{4}.
 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что все отрезки, связывающие точку r с вершинами n -угольника, имеют одинаковую длину. Это означает, что n -угольник является правильным и точка r совпадает с его центром.

Теорема доказана.

Теорема 1 позволяет определить конфигурацию мультиинертного осциллятора, упрощенная схема которого показана на рисунке.



Мультиинертный осциллятор

Для целей теоремы 1 вершины правильного многоугольника рассматривали в одной плоскости Z . Для инженерных целей траектории грузов не должны пересекаться, поэтому грузы и их направляющие расположены в параллельных плоскостях подобно цилиндрам, шатунам и кривошипам в кривошипно-шатунном механизме. Для обеспечения этого, например, стержень x_1x_3 закреплен "сверху" (ближе) груза, находящегося в координате x_1 , а стержень x_1x_4 — "снизу" (дальше; на рисунке не показано).

Анализ колебательной системы

Внешние силы к системе не приложены. Скорости инертных тел массой m каждое определяются как производные их координат. В соответствии с (1), (2) имеем

$$\frac{dx_1}{dt} = -R \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt};$$

$$\frac{dx_2}{dt} = R \sin \left(\frac{\pi}{n} - \varphi \right) \frac{d\varphi}{dt};$$

$$\frac{dx_3}{dt} = R \sin \left(\frac{2\pi}{n} - \varphi \right) \frac{d\varphi}{dt};$$

$$\dots;$$

$$\frac{dx_i}{dt} = R \sin \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] \frac{d\varphi}{dt};$$

$$\dots;$$

$$\frac{dx_n}{dt} = R \sin \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \varphi \right] \frac{d\varphi}{dt}.$$

Для того чтобы в системе происходили свободные гармонические колебания, необходимо, чтобы ее полная энергия оставалась постоянной. В данном случае полная энергия системы имеет вид

$$T = \frac{1}{2} m R^2 \left\{ \sin^2 \varphi + \sin^2 \left(\frac{\pi}{n} - \varphi \right) + \dots + \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \varphi \right] + \dots + \sin^2 \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \varphi \right] \right\} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2. \quad (3)$$

Теорема 2. При $n \geq 2$ имеет место выражение

$$\sum_{i=1}^n \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \pm \varphi \right] = \frac{n}{2}. \quad (4)$$

Доказательство:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \pm \varphi \right] = \\ &= \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \left[\frac{(i-1)2\pi}{n} \pm 2\varphi \right] \right\} = \\ &= \frac{n}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\varphi) \sum_{i=1}^n \cos \frac{(i-1)2\pi}{n} \mp \\ & \mp \frac{1}{2} \sin(2\varphi) \sum_{i=1}^n \sin \frac{(i-1)2\pi}{n}. \end{aligned}$$

Если вдоль координатных осей $0x_1, 0x_2, \dots, 0x_n$ отложить единичные векторы, то их сумма вследствие центральной симметрии будет равна нулю. Следовательно, сумма проекций этих единичных векторов на любую из осей $0x_1, 0x_2, \dots, 0x_n$ также будет нулевой. По этой причине последние две суммы тождественно равны нулю.

Теорема доказана.

Следствие. При $n = 2$ выражение (4) приобретает известный вид:

$$\sin^2 \varphi + \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} + \varphi \right) = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = \frac{2}{2} = 1.$$

Аналогично доказывается следующая теорема.

Теорема 3. При $n \geq 2$ имеет место выражение

$$\sum_{i=1}^n \cos^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \pm \varphi \right] = \frac{n}{2}.$$

С учетом теоремы 2 (см. выражение (4)) полная (она же кинетическая) энергия (3) [8] равна

$$T = \frac{1}{4} nmR^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \text{const}.$$

Из последнего выражения следует

$$\frac{d\varphi}{dt} = \text{const},$$

$$\varphi = C_1 t + C_2.$$

Начальные условия для фазы и угловой скорости имеют вид

$$\varphi(0) = \varphi_0;$$

$$\frac{d\varphi}{dt}(0) = \omega_0.$$

Отсюда

$$C_2 = \varphi_0;$$

$$C_1 = \omega_0.$$

Формулы для координат грузов (1), (2) принимают вид

$$x_1 = R \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$x_2 = R \cos \left(\frac{\pi}{n} - \omega_0 t - \varphi_0 \right);$$

$$x_3 = R \cos \left(\frac{2\pi}{n} - \omega_0 t - \varphi_0 \right);$$

...

$$x_i = R \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \omega_0 t - \varphi_0 \right];$$

...

$$x_n = R \cos \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \omega_0 t - \varphi_0 \right].$$

Начальные условия для перемещения и линейной скорости имеют вид

$$x_1(0) = x_{10};$$

$$\frac{dx_1}{dt}(0) = v_{10}.$$

Отсюда

$$\cos \varphi_0 = \frac{x_{10}}{R};$$

$$\varphi_0 = \arccos \frac{x_{10}}{R} = \arcsin \sqrt{1 - \frac{x_{10}^2}{R^2}};$$

$$-R\omega_0 \sin(\omega_0 0 + \varphi_0) = v_{10};$$

$$\omega_0 = -\frac{v_{10}}{\sqrt{R^2 - x_{10}^2}}. \quad (5)$$

Заключение

Инертные тела массой m каждое осуществляют гармонические колебания, обусловленные взаимным обменом кинетической энергией. Потенциальной энергии пружин для этого не требуется.

Колебания тел являются свободными.

Особенностью мультиинертного осциллятора является то, что частота его свободных колебаний (5) не фиксирована и определяется преимущественно начальными условиями. Эта особенность может оказаться весьма полезной для технических приложений, например для самонейтрализации механической реактивной (инерционной) мощности [9].

При этом n -угольник x_1, x_2, \dots, x_n осуществляет сложное движение: орбитальное вращение вокруг центра координат 0 и спиновое вращение вокруг своей оси, проходящей через центр r .

Каждый груз совершает *линейные гармонические колебания* вдоль своей направляющей. Его координата изменяется от $+R$ до $-R$.

При расположении направляющих грузов не в виде звезды, а параллельно друг другу углы между соответствующими кривошипами составят $360/n$ градусов.

Мультиинертный осциллятор имеет перспективу промышленного применения. Некоторые вибромашины, в частности сортировальные, имеют более трех массивных подвижных рабо-

чих органов [10]. Построение их по схеме мультиинертного осциллятора позволит существенно сократить потребление энергии, которая в этом случае *не будет* расходоваться на сообщение

массивным рабочим органам колебательных движений (около 90 % полной мощности), а будет направлена только на компенсацию трения и на совершение полезной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И. П. О резонансе и антирезонансе // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2019. № 4. С. 45—48.
2. Попов И. П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях // Прикладная физика и математика. 2019. № 4. С. 14—24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
3. Попов И. П., Сарапулов Ф. Н., Сарапулов С. Ф. Инертно-индуктивный осциллятор // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 8. № 2 (29). С. 80, 81.
4. Попов И. П. Инертно-емкостная колебательная система // Зауральский научный вестник. 2013. № 2 (4). С. 65, 66.
5. Попов И. П. Упруго-индуктивный осциллятор // Российский научный журнал. 2013. № 1 (32). С. 269, 270.
6. Попов И. П. Электромагнитный маховик для ориентирования орбитальных объектов // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 2. С. 15—17.
7. Попов И. П. Синтез инертно-инертного осциллятора // Прикладная математика и вопросы управления. 2017. № 1. С. 7—13.
8. Попов И. П. Роторно-реактивный движитель // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2018. № 4. С. 24—26.
9. Попов И. П. Условно-ортогональные механические мощности // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 4 (144). С. 15—17.
10. Попов И. П., Кубарева С. Ю. Автобалансировка вибрационных машин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2018. Т. 16. № 3. С. 140—144. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-140-144>

THEORETICAL BACKGROUND OF CREATING A MULTI-INERT OSCILLATOR

I. P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

A mechanical oscillatory system with homogeneous elements, namely, with n massive loads (multi-inert oscillator), is considered. The possibility of the appearance of free harmonic oscillations of loads in such a system is shown. Unlike the classical spring pendulum, the oscillations of which are due to the mutual conversion of the kinetic energy of the load into the potential energy of the spring, in a multi-inert oscillator, the oscillations are due to the mutual conversion of only the kinetic energies of the goods. In this case, the acceleration of some loads occurs due to the braking of others. A feature of the multi-inert oscillator is that its free oscillation frequency is not fixed and is determined mainly by the initial conditions. This feature can be very useful for technical applications, for example, for self-neutralization of mechanical reactive (inertial) power in oscillatory systems.

Keywords: oscillator, inert, harmonic, reactivity, spatial shift, phase shift, kinetic energy.

Bibliography — 10 references.

Received January 21, 2020

УДК 621.565+620.179.1

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ МЕДИ МАРКИ МЗр**В. В. Спирыгин**Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Приведены результаты исследований генерации упругих волн акустической эмиссии в меди марки МЗр, применяемой в качестве конструкционного материала для теплообменных труб кожухотрубных теплообменных аппаратов. Установлено, что применение метода акустической эмиссии позволяет заблаговременно регистрировать в данном конструкционном материале наличие дефектов, являющихся причиной потери работоспособности.

Ключевые слова: техническое диагностирование, акустическая эмиссия, теплообменные аппараты.

Высокая теплопроводность наряду с пластичностью и устойчивостью к коррозии и перепадам температур является одним из основных преимуществ, по которым в качестве конструкционного материала для теплообменных труб выбирают медь и ее сплавы.

Для кожухотрубных теплообменных аппаратов (ТА) теплообменные трубы могут изготавливаться из различных сплавов меди, однако наибольшее распространение получил сплав МЗр (раскисленный фосфором). Добавление фосфора способствует удалению из состава сплава эвтектики ($\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$), таким образом почти полностью исключается наличие в сплаве кислорода. Это предотвращает склонность сплава к так называемой водородной болезни — диффузии водорода в медь при нагревании в среде, содержащей водород, и восстановлению окиси меди ($\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 = 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$). Тем самым повышается устойчивость изготовленных труб к образованию трещин и разрывов при монтаже и эксплуатации.

Проведенные исследования [1] показывают, что в ряде случаев причиной потери работоспособности теплообменных труб ТА является не образование несплошностей, а разгерметизация вальцовочных соединений теплообменных труб с трубной решеткой при развитии специфических дефектов в виде локальной деформации. В работе [1] выдвинута и экспериментально проверена гипотеза о том, что отклонения от нормальных режимов эксплуатации в

сочетании с неоднородным контактным давлением в соединении труба—трубная решетка способствуют заморозке теплоносителя в радиальном зазоре вальцовочного соединения и образованию дефектов в виде локальной деформации теплообменных труб.

С учетом длительной эксплуатации ТА большое количество циклов заморозки и оттаивания теплоносителя в объеме радиального зазора, даже существенно отдаленных во времени, в конечном итоге приводит к увеличению локальной деформации теплообменной трубы до критических размеров, приводящему к разгерметизации ТА.

Ввиду того что дефекты возникают во внутренней полости ТА, выявление их традиционными методами неразрушающего контроля затруднено. В связи с этим необходимо совершенствование существующего диагностического обеспечения ТА за счет применения метода акустической эмиссии (АЭ), позволяющего заблаговременно выявлять развитие различного рода дефектов без проведения трудоемких подготовительных операций.

Проведенные автором исследования наряду с опубликованными в работах [1, 2] являются одной из экспериментальных предпосылок к разработке методики технического диагностирования металлоконструкций испарителей холодильных машин систем холодоснабжения, описанной в работе [3].

Постановка задачи

В целях оценки применимости метода АЭ для диагностирования специфических дефектов ТА в виде локальной деформации теплообменных труб необходимо:

Спирыгин Валерий Викторович, преподаватель.
E-mail: V.V.Spiryagin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 22 января 2020 г.

© Спирыгин В. В., 2020

- разработать экспериментальную установку для исследования генерации упругих волн АЭ при деформации конструкционного материала теплообменных труб;
- провести испытание на растяжение с сопровождением АЭ для получения характерного акустико-эмиссионного портрета источников АЭ при деформации меди марки МЗр;
- произвести оценку применимости метода АЭ для контроля технического состояния (ТС) ТА с учетом дефектов в виде локальной деформации труб.

Синтез экспериментальной установки

Исследование генерации упругих волн АЭ при пластической деформации материала теплообменных труб проводилось при деформировании растяжением. Испытание на растяжение проводили на разрывной машине Tiratest 2300. Блок-схема экспериментальной установки для регистрации акустической эмиссии в процессе деформирования при растяжении представлена на рис. 1.

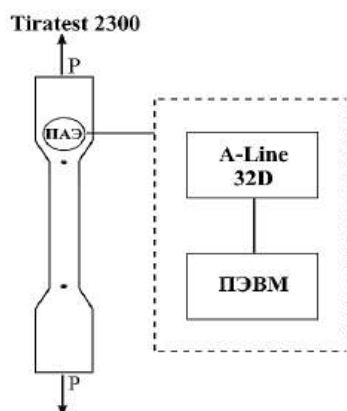


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для регистрации АЭ в процессе деформирования при растяжении

Разрывная установка Tiratest 2300 соответствует требованиям, предъявляемым к разрывным машинам, предназначенным для испытаний с контролем АЭ (захваты не должны вызывать шумов в диапазоне детектирования АЭ; трансляции шумовых сигналов от нагружающего приспособления к преобразователю АЭ быть не должно). Выполнение указанных условий обеспечивали предварительной подготовкой образца и использованием разрывной установки, обладающей незначительными собственными шумами.

Крепление образца в разрывной установке осуществляли при помощи клиновых захватов. Для исключения шумов, связанных с трением захватов о поверхность образца, зоны крепления были обернуты в десять слоев фторопластовой пленки толщиной 0,2 мм.

Блок регистрации сигналов АЭ для детектирования, обработки (оцифровки) и регистрации сигналов АЭ включал преобразователь АЭ (ПАЭ), установленный на образце, аппаратуру АЭ-контроля, устройство сопряжения и ЭВМ. В качестве аппаратуры АЭ-контроля использовали прибор A-Line 32D, обеспечивающий регистрацию, усиление и обработку принимаемых сигналов АЭ.

Образцы для испытаний изготавливали путем фрезерной обработки листового проката меди марки МЗр. Для испытаний использовали плоские короткие пропорциональные образцы, выполненные по ГОСТ 1497-89 [4], с начальной рабочей длиной

$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0} = 100 \text{ мм}, \quad (1)$$

где $F_0 = bh = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ см}^2$ — площадь поперечного сечения образца;

$b = 10 \text{ мм}$ — ширина поперечного сечения образца;

$h \approx 5 \text{ мм}$ — толщина поперечного сечения образца.

Размеры плоских образцов приведены на рис. 2.

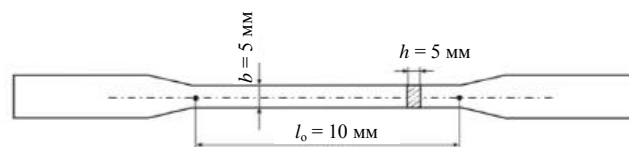


Рис. 2. Плоский образец для проведения испытаний на растяжение

Перед испытаниями образцы подвергали нагреву в муфельной печи мощностью 2,5 кВт, а затем охлаждали на воздухе или в воде. Время нагрева до температуры 600 °С составляло 20 мин.

Испытания образцов на растяжение с сопровождением АЭ

Испытания образцов на растяжение проводили по "жесткой" схеме на машине Tiratest 2300 с настройкой на постоянную скорость перемещения до 1 мм/мин. Одновременно производили регистрацию параметров сигналов АЭ, нагрузки разрушения и старта пластической деформации. В качестве контрольных параметров сигналов АЭ служили число импульсов АЭ, активность АЭ, суммарный счет АЭ, скорость счета, форма сигнала АЭ, амплитудный спектр, энергия АЭ, энергия источника АЭ, длительность импульса АЭ.

Определение параметров АЭ-сигналов, сопровождающих пластическую деформацию, про-

водили на основе акустограмм, совмещенных с графиком напряжение—деформация.

На рис. 3—5 представлены диаграммы растяжения образца с распределением средней амплитуды u_m , скорости счета N и суммарного счета N АЭ во время нагружения.

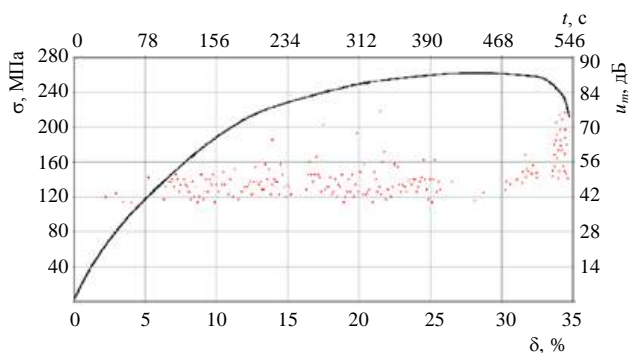


Рис. 3. Характерная зависимость изменения средней амплитуды АЭ при нагружении и деформации образца

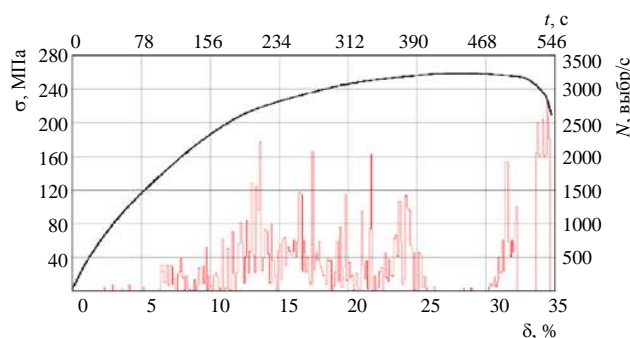


Рис. 4. Характерная зависимость изменения скорости счета АЭ при нагружении и деформации образца

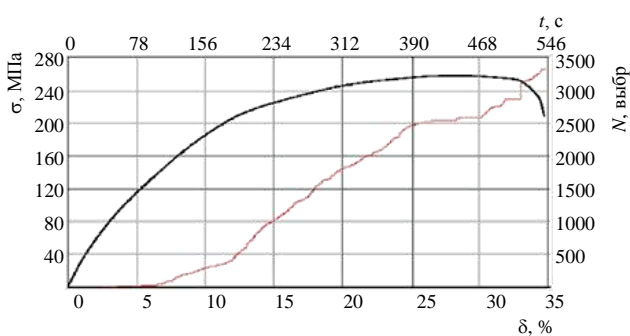


Рис. 5. Характерная зависимость изменения суммы импульсов АЭ при нагружении и деформации образца

Из представленных диаграмм следует, что первые дискретные сигналы АЭ были зафиксированы при достижении нагрузки 67 МПа, что соответствует значению предела текучести отожженной меди. Таким образом, при относи-

тельной деформации $\delta = 2 \%$ происходит переход от упругой деформации к необратимой (пластической).

Процесс нагружения образца сопровождался генерацией большого количества импульсов АЭ с амплитудой 40—56 дБ (см. рис. 3), что выше установленного порога дискриминации (39 дБ). Таким образом, подтверждена возможность достоверного выявления сигналов АЭ при пластической деформации на фоне технологического шума.

Регистрацию АЭ производили как непрерывный процесс с отдельными дискретными пиками, что является характерным для металлов и сплавов с решеткой ГЦК (Al, Cu, Ni, Ag, латунь) [5]. Возникновение и распространение АЭ в процессе пластической деформации происходило вплоть до достижения напряжений в материале, равных пределу прочности σ_b , и непосредственного разрушения образца.

Отдельные высокоамплитудные пики АЭ (см. рис. 3) могут быть обусловлены неоднородностью деформации при образовании микронесплошностей (пустот) и образованием микротрещин. Рост микротрещин приводит к локальным разрывам сплошности, высвобождающим энергию кристаллической решетки [6]. Следует отметить, что образование микротрещин не несет непосредственной [7] угрозы объекту ввиду того, что их количество слишком мало для объединения в магистральную трещину.

Изменения скорости счета АЭ (см. рис. 4) и суммы импульсов (см. рис. 5) обладают большей информативностью, так как дают представление об изменении плотности подвижных дислокаций с ростом относительной деформации.

На основании представленных данных получен портрет источников АЭ [6] при деформации металлоконструкций, выполненных из меди.

Оценка применимости метода АЭ для контроля ТС трубных пучков ТА, выполненных из меди марки МЗр

В ходе эксперимента подтверждено, что в целях регистрации пластической деформации меди возможно применение метода АЭ как метода неразрушающего контроля. В качестве наиболее информативных параметров, сигнализирующих о пластическом течении материала трубы, при проведении испытаний целесообразно использовать среднюю амплитуду, скорость счета и сумму импульсов АЭ.

Особенностью сигналов АЭ при пластической деформации меди марки МЗр является генера-

ция большого числа импульсов малой амплитуды и энергии, вследствие чего выявление полезного сигнала на фоне внешних шумов может быть затруднено. Для достоверного определения процесса пластической деформации необходима разработка критериев предельного состояния и диагностической модели ТА, позволяющей отделять сигналы АЭ, генерируемые при пластической деформации, от сигналов, связанных с развитием трещин и возникновением течи.

Имея в распоряжении полученные экспериментальные данные, можно произвести предварительный выбор системы классификации источников АЭ при оценке ТС ТА.

В первом приближении для классификации источников АЭ с учетом разработанной модели потери работоспособности [1] может быть выбран комплексный критерий, включающий параметры:

- амплитуды для выявления трещиноподобных дефектов металлоконструкций обечайки ТА;

- скорости счета АЭ, учитывающий генерацию АЭ при истечении рабочей среды через несплошности и возникновение пластической деформации, вызванной несовершенством формы теплообменных труб.

Заключение

В результате проведенных исследований разработана экспериментальная установка, при помощи которой изучен процесс генерации упругих колебаний при деформации меди марки МЗр. Установлено, что процесс пластической деформации образцов из меди, регистрируемый акустико-эмиссионной аппаратурой, может быть достоверно интерпретирован на фоне внешних шумов. Таким образом, при разработке соответствующей диагностической модели выявление дефектов в виде локальной пластической деформации теплообменных труб может служить одним из критериев при оценке ТС ТА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спирыгин В. В., Медеяев И. А., Чмыхало А. И. Модель потери работоспособности металлоконструкций испарителя холодильной машины // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2019. № 11. С. 483—492.
2. Спирыгин 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.
3. Спирыгин В. В. Разработка методики технического диагностирования металлоконструкций испарителей холодильных машин систем холодоснабжения ракетных комплексов с применением метода акустической эмиссии // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 4 (144). С. 34—40.
4. ГОСТ 1497-89 Металлы. Методы испытаний на растяжение. — М.: Стандартинформ, 2008. — 28 с.
5. Буйло С. И. Физико-механические и статистические аспекты акустико-эмиссионной диагностики предавращающего состояния: дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. — Ростов-на-Дону, 2009.
6. Иванов В. И., Власов И. Э. Метод акустической эмиссии: справ. "Неразрушающий контроль". В 7 т. / под общ. ред. Ключева В. В. Кн. 1. — М.: Машиностроение, 2005. — 829 с.
7. Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф. Техническая диагностика опасных производственных объектов. — М.: Наука, 2010. — 415 с.

STUDY OF ACOUSTIC EMISSION CHARACTERISTICS OF HEAT TRANSFER TUBES MADE OF M3P COPPER

V. V. Spiryagin

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

The article presents the results of studies of the generation of elastic waves of acoustic emission in M3p copper grade, which is used as a structural material for heat-exchange tubes of shell-and-tube heat exchangers. It has been established that the use of the acoustic emission method allows one to register in advance in this structural material the presence of defects that are the cause of loss of performance.

Keywords: technical diagnostics, acoustic emission, heat exchangers.

Bibliography — 7 references.

Received January 22, 2020

УДК 665.6:536

ПЛОТНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Н. А. Овчинников, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «КГТА им. В. А. Дегтярева», г. Ковров, Владимирская обл., Россия

Б. А. Григорьев, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Московская обл., Россия

Даны результаты экспериментального исследования плотности шести образцов авиационных масел при атмосферном давлении. Опытные данные обобщены на основе принципа соответственных состояний. Полученная зависимость образует методическую основу для расчета плотности авиационных масел при температурах до +200 °С и атмосферном давлении. В качестве исходных данных использованы данные об основных физико-химических свойствах масел.

Ключевые слова: плотность, авиационные масла, псевдокритическая температура.

Сведения о теплофизических свойствах в широкой области параметров состояния имеют большое значение для правильного выбора марки авиационного масла, что обеспечивает заданные технико-эксплуатационные характеристики и ресурс двигателя. Отечественные авиационные масла по функциональному назначению подразделяют на масла для поршневых и газотурбинных двигателей самолетов, а также для различных агрегатов вертолетов [1]. В зависимости от типа газотурбинного двигателя различают масла для турбореактивных двигателей (ТРД) и масла для турбовинтовых двигателей (ТВД). По составу авиационные масла подразделяют на минеральные масла, т. е. масла на нефтяной основе, и на синтетические. Условия эксплуатации авиационных масел характеризуются широким интервалом значений рабочей температуры, которая в двигателях сверхзвуковых самолетов достигает +200 °С.

Наиболее надежные сведения о температурной зависимости плотности авиационных масел могут быть получены на основе экспериментальных исследований.

В работе приведены результаты экспериментального исследования плотности авиационных масел при атмосферном давлении в широком интервале температур.

Овчинников Николай Александрович, доцент.

E-mail: anikov@yandex.ru

Григорьев Борис Афанасьевич, научный руководитель Центра исследований пластических систем и технологического моделирования.

E-mail: gba_41@mail.ru

Статья поступила в редакцию 9 января 2020 г.

© Овчинников Н. А., Григорьев Б. А., 2020

Экспериментальная техника и материалы

Измерение плотности авиационных масел при атмосферном давлении в интервале температур от 236 до 453 К выполнено на экспериментальной установке, реализующей метод гидростатического взвешивания. Средняя квадратическая погрешность определения плотности при атмосферном давлении составила $\pm 0,05$ %. Подробно описание экспериментальной установки и методики проведения измерений приведено в [2–4].

Для исследования были взяты 6 образцов авиационных масел как на нефтяной, так и на синтетической основе, применяемых в ТРД и ТВД. Для всех образцов масел предварительно были определены основные физико-химические свойства, такие, как относительная плотность ρ_4^{20} , показатель преломления n_D^{20} , молекулярная масса M .

Физико-химические свойства авиационных масел представлены в таблице.

Физико-химические свойства авиационных масел

Марка масла	Назначение	ρ_4^{20}	n_D^{20}	M
ВНИИНП 50-1-4у	Для ТРД, синтетическое	0,9264	1,4579	405
МС-8рк	Для ТРД, минеральное	0,8767	1,4726	270
ЛЗ-240	Для ТРД, синтетическое	1,0026	1,4608	462
ПТС-225	Для ТРД, ТВД, синтетическое	0,9946	1,4593	456
ВТ-301	Для ТРД, на основе кремнийорганики	1,1067	1,3879	2110
МН-7,5у	Для ТВД, минеральное	0,8754	1,4755	285

Результаты и обобщения

Результаты экспериментального определения плотности авиационных масел при атмосферном давлении в зависимости от температуры представлены на рис. 1.

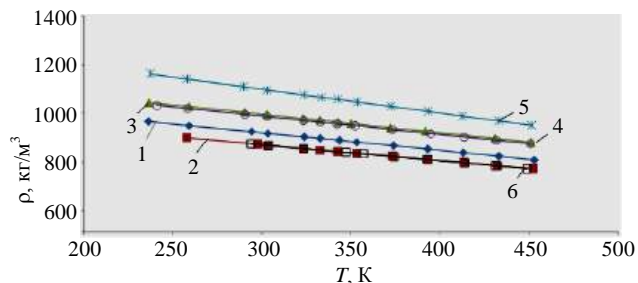


Рис. 1. Плотность авиационных масел при атмосферном давлении:

1 — ВНИИП 50-1-4у; 2 — МС-8рк; 3 — ЛЗ-240; 4 — ПТС-225; 5 — ВТ-301; 6 — МН-7,5у

Экспериментальные данные обобщены на основе подхода, основанного на использовании принципа соответственных состояний. Для определения псевдокритической температуры T_c использована формула Риази, рекомендуемая для высокомолекулярных углеводородов [5]:

$$T_c = 218,9592 \exp \left[\left(-3,4 \cdot 10^{-4} \right) M + (-0,40852) \rho_{15}^{15} + \left(-2,5 \cdot 10^{-5} \right) M \rho_{15}^{15} \right] M^{0,331} \left(\rho_{15}^{15} \right)^{0,813}, \quad (1)$$

где T_c — псевдокритическая температура, K;
 M — молекулярная масса;
 ρ_{15}^{15} — относительная плотность.

Для пересчета относительной плотности ρ_4^{20} в относительную плотность ρ_{15}^{15} использована формула

$$\rho_{15}^{15} = 0,0112 + 0,99167 \rho_4^{20}. \quad (2)$$

В качестве параметра приведения плотности при атмосферном давлении использовано значение плотности $\rho_{\tau=0,5}$ при значении приведенной температуры $\tau = 0,5$. Значение параметра приведения $\rho_{\tau=0,5}$ определяли для каждого образца посредством графических построений зависимости плотности ρ от приведенной температуры $\tau = T/T_c$. Значение приведенной температуры $\tau = 0,5$ принято по той причине, что значение параметра приведения $\rho_{\tau=0,5}$ могло быть надеж-

но выделено из экспериментальных данных. Зависимость приведенной плотности $\rho^* = \rho / \rho_{\tau=0,5}$ от приведенной температуры $\tau = T/T_c$ представлена на рис. 2. При построении графика, учитывая, что температурная зависимость каждого образца носит линейный характер, в массив данных для построения были включены по 6 экспериментальных значений плотности каждого образца, равномерно распределенных по всему интервалу температур.

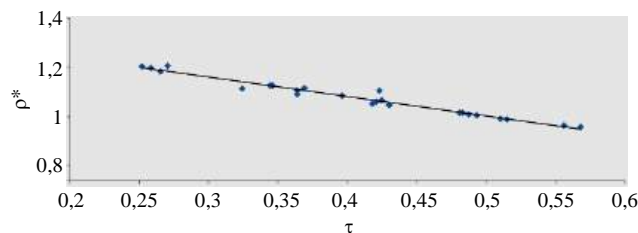


Рис. 2. Зависимость приведенной плотности ρ^* от приведенной температуры τ

Показанная на рис. 2 зависимость обобщена линейным уравнением вида

$$\rho^* = -0,79 \tau + 1,398. \quad (3)$$

Установлено, что значения параметра приведения $\rho_{\tau=0,5}$ достаточно хорошо соотносятся со значениями относительной плотности ρ_4^{20} . Зависимость $\rho_{\tau=0,5}$ от ρ_4^{20} исследованных образцов масел представлена на рис. 3.

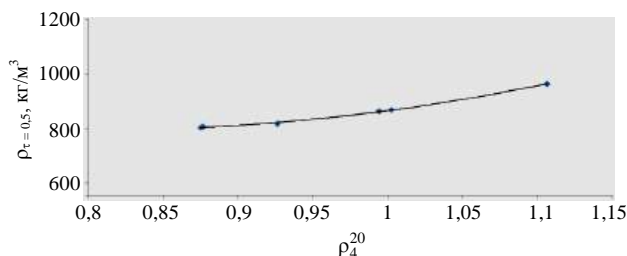


Рис. 3. Зависимость $\rho_{\tau=0,5}$ от ρ_4^{20}

Представленная на рис. 3 зависимость может быть обобщена выражением вида

$$\rho_{\tau=0,5} = 1880 \left(\rho_4^{20} \right)^2 - 3035 \left(\rho_4^{20} \right) + 2020. \quad (4)$$

На основе полученных данных может быть предложена методика расчета плотности авиационных масел при атмосферном давлении и различных температурах. Алгоритм расчета представлен на рис. 4.

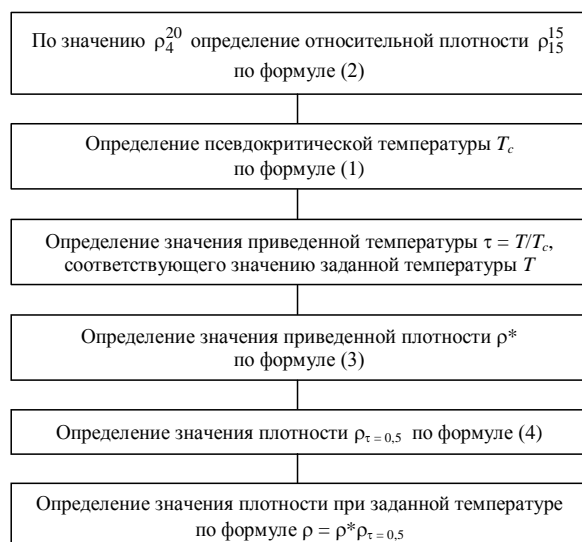


Рис. 4. Алгоритм расчета плотности при атмосферном давлении

Заключение

Приведены результаты экспериментального исследования плотности шести образцов авиационных масел при атмосферном давлении в интервале температур от 236 до 453 К. Экспериментальные данные обобщены на основе принципа соответственных состояний. Полученная зависимость служит методической основой расчета плотности авиационных масел при атмосферном давлении в интервале значений приведенной температуры $\tau = 0,25—0,6$. В качестве исходной информации достаточно использовать данные об относительной плотности образца ρ_4^{20} и его молекулярной массе M . Среднеквадратическая ошибка расчета плотности при атмосферном давлении составляет $\pm 0,5 \%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадыштова К. М., Берштадт Я. А., Богданов Ш. К. и др. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справ. изд. / под ред. Школьников В. М. — М.: Химия, 1989. — 432 с.
2. Овчинников Н. А. Плотность нефтяных фракций и нефтепродуктов, полученных физическими и каталитическими процессами переработки нефти: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1993. — 169 с.
3. Григорьев Б. А. Исследование теплофизических свойств нефтей, нефтепродуктов и углеводородов: дисс. ... д-ра техн. наук. — Баку, 1979. — 524 с.
4. Шевченко Н. В. Экспериментальное исследование плотности нефтей и прямогонных нефтяных фракций до давлений 60 МПа: дисс. ... канд. техн. наук. — Грозный, 1978. — 204 с.
5. Riazi M.-R. Characterization and properties of petroleum fractions. 1st ed. p. cm.-(ASTM manual series: MNL50). — Philadelphia, 2005. — 407 p.

DENSITY OF AVIATION OILS AT ATMOSPHERIC PRESSURE

N. A. Ovchinnikov

Kovrov State Technological Academy named after V. A. Degtyarev, Kovrov, Vladimir region, Russia

B. A. Grigoryev

LLC "Gazprom VNIIGAZ", Razvilka village, Moscow region, Russia

The results of an experimental investigation of the density of six samples of aviation oils at atmospheric pressure are given. Experimental data are generalized on the basis of the principle of corresponding states. The obtained dependences form a methodological basis for calculating the density of aviation oils at temperatures up to + 200 °C and atmospheric pressure. The data on the basic physical and chemical properties of oils are used as the input parameters.

Keywords: density, aviation oils, pseudocritical temperature.

Bibliography — 5 references.

Received January 9, 2020

УДК 629.191

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. Н. Арсеньев, д-р техн. наук

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского», Санкт-Петербург, Россия

Д. П. Дубинин

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

Рассматривается задача оценивания эффективности применения перспективного летательного аппарата (ЛА) по результатам априорных исследований и испытаний ограниченного числа опытных образцов. Для ее решения использован метод приоритета опытной информации, позволивший повысить точность оценивания и получить выигрыш в числе испытаний. Показано, что применение полученной апостериорной оценки вероятности выполнения ЛА целевой задачи позволяет уменьшить риск принятия ошибочных решений при планировании применения ЛА по назначению.

Ключевые слова: летательный аппарат, эффективность применения, априорная информация, ограниченные натурные испытания, выигрыши в точности и числе испытаний.

Для решения народно-хозяйственных, научно-исследовательских, оборонных и других задач широко используют ЛА. Среди них особое место занимают ЛА, используемые в космической сфере (ракеты-носители, космические аппараты, разгонные блоки и т. д.). Требования к системам управления (СУ) этих аппаратов по ряду показателей являются более жесткими, чем к СУ других объектов. В связи с расширением круга решаемых перспективными ЛА задач и ужесточением требований к качеству их решения происходит техническое усложнение СУ и самих ЛА, повышение их стоимости, а также возрастание стоимости организации и проведения натурных испытаний [1]. В то же время для планирования применения по назначению ЛА необходимо иметь достоверные оценки ряда показателей, характеризующих его свойства, в частности показателя эффективности применения ЛА. Необходимую информацию можно получить по результатам натурных испытаний отмеченных опытных образцов ЛА [2]. Однако вследствие

причин число опытных образцов, выделяемых для проведения испытаний, является ограниченным, что не позволяет получить устойчивые оценки характеристик СУ. Повысить качество оценивания можно путем комплексной обработки результатов испытаний и дополнительной (априорной) информации, полученной на этапах, предшествующих натурным испытаниям.

Имеется ряд методов, позволяющих при определенных условиях получить апостериорные оценки показателей качества СУ путем комплексной обработки всей имеющейся априорной и опытной информации. Среди них следует выделить методы, основанные на формуле Байеса. Их используют для решения широкого круга практических задач, приведенных, например, в [1–10]. Основным ограничением байесовского подхода является неоднозначность, которую он допускает при выборе априорных распределений, и, как следствие, в ряде случаев противоречивость получаемых результатов.

Имеются также методы, использующие различные (в основном линейные) комбинации априорных и опытных оценок характеристик СУ [2, 4, 6, 10–14]. Основная сложность их практического применения связана с отсутствием общих рекомендаций по выбору весовых коэффициентов для различных оценок. Еще большую неопределенность, на взгляд авторов, имеют апостериорные оценки, полученные на основе

Арсеньев Владимир Николаевич, профессор.

E-mail: vladar56@mail.ru

Дубинин Дмитрий Павлович, преподаватель.

E-mail: dubinindp@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2019 г.

© Арсеньев В. Н., Дубинин Д. П., 2020

мультипликативных моделей и параметрических функций [2]. В некоторых частных случаях решения рассматриваемой задачи можно найти в [15, 16].

Следует отметить, что качество априорной информации может существенно влиять не только на достоверность получаемых апостериорных оценок характеристик СУ, но и на число натурных испытаний. Это особенно становится актуальным на заключительных этапах создания ЛА, когда проводятся дорогостоящие испытания его опытных образцов. Очевидно, что чем ближе априорная информация к результатам наблюдений, тем больше должны быть ее вклад в апостериорную оценку и выигрыш в точности оценивания. Существенное расхождение априорных и опытных данных говорит о нарушении принципа однородности и может привести не к уточнению оценок за счет учета априорной информации, а к их искажению. К сожалению, существующие подходы к учету неоднородности объединяемых данных не решают этой проблемы.

Постановка задачи

Важнейшим показателем эффективности применения ЛА по назначению является вероятность p выполнения им целевой задачи.

Полагают, что по результатам априорных исследований получена некоторая расчетная оценка p_p вероятности p .

Проведено N_c серий независимых испытаний в одних и тех же условиях, причем в каждой серии испытано n опытных образцов.

Обозначим через $x_i \leq n$ число опытных образцов, выполнивших поставленную задачу в i -й серии испытаний, $i = \overline{1, N_c}$.

Результаты натурных испытаний показали, что в 1-й серии целевую задачу выполнили x_1 образцов, во 2-й серии — x_2 и т. д., в последней серии испытаний целевая задача была решена x_{N_c} образцами.

Требуется по имеющейся априорной и опытной информации оценить вероятность p выполнения ЛА целевой задачи.

Решение задачи методом приоритета опытной информации

Известно [3], что дискретная случайная величина $\hat{X} \geq 0$, характеризующая число появлений некоторого события в последовательности из n независимых испытаний, имеет биномиальный

закон распределения, в соответствии с которым вероятность того, что данное событие появится ровно x раз, определяется по формуле

$$P\left(\hat{X} = x; p\right) = C_n^x p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где

p — параметр распределения (вероятность появления заданного события в одном испытании);

$$C_n^x = \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad \text{— число сочетаний из } n \text{ по } x.$$

Математическое ожидание $M_{\hat{X}}$ и дисперсия

$D_{\hat{X}}$ случайной величины \hat{X} связаны с вероятностью p известными соотношениями:

$$M_{\hat{X}} = np; \quad D_{\hat{X}} = np(1-p). \quad (2)$$

В соответствии с методом приоритета опытной информации (ПОИ) по результатам испытаний опытных образцов ЛА $x_i, i = \overline{1, N_c}$, составляется функция правдоподобия [17]:

$$\begin{aligned} \prod_{i=1}^{N_c} P\left(\hat{X} = x_i; p\right) &= \prod_{i=1}^{N_c} C_n^{x_i} p^{x_i} (1-p)^{n-x_i} = \\ &= \left(\prod_{i=1}^{N_c} C_n^{x_i} \right) p^{\sum_{i=1}^{N_c} x_i} (1-p)^{nN_c - \sum_{i=1}^{N_c} x_i}, \end{aligned} \quad (3)$$

на основе которой определяется оценка максимального правдоподобия (опытная оценка) p_0 вероятности p .

Поскольку функция (1) удовлетворяет условию регулярности [17], для определения опытной оценки p_0 можно использовать необходимое условие максимума функции (3):

$$\left. \frac{\partial \ln \prod_{i=1}^{N_c} P\left(\hat{X} = x_i; p\right)}{\partial p} \right|_{p=p_0} = 0,$$

откуда

$$p_0 = \frac{1}{nN_c} \sum_{i=1}^{N_c} x_i. \quad (4)$$

Тогда подстановка суммы $\sum_{i=1}^{N_c} x_i = nN_c p_o$ из выражения (4) в функцию правдоподобия (3) дает

$$L(p_o, p) = C_o p^{N_c n p_o} (1-p)^{N_c n (1-p_o)}, \quad (5)$$

где $C_o = \prod_{i=1}^{N_c} C_n^{x_i}$.

В качестве меры, характеризующей близость априорной оценки p_p вероятности p выполнения ЛА целевой задачи к опытной оценке p_o , полученной по результатам испытаний опытных образцов ЛА, используют отношение правдоподобия для проверки гипотезы $H: p = p_p$ [17]:

$$v^* = \frac{\prod_{i=1}^{N_c} P(\hat{X} = x_i; p_p)}{\prod_{i=1}^{N_c} P(\hat{X} = x_i; p_o)}.$$

С учетом формул (3) и (5) ее можно представить в виде [18]

$$v^* = \frac{L(p_p, p)}{L(p_o, p)} = \frac{p_p^{N_c n p_o} (1-p_p)^{N_c n (1-p_o)}}{p_o^{N_c n p_o} (1-p_o)^{N_c n (1-p_o)}}. \quad (6)$$

Если в процессе натурных испытаний в каждой серии испытывали только один опытный образец ($n = 1$), а m — число образцов, достигших поставленной цели, то $p_o = \frac{m}{N_c}$, а отношение правдоподобия определяется по формуле

$$v^* = \left(\frac{p_p}{p_o} \right)^{N_c p_o} \left(\frac{1-p_p}{1-p_o} \right)^{N_c (1-p_o)}. \quad (7)$$

Из выражения (6) видно, что величина v^* изменяется от 0 до 1. Чем ближе расчетная оценка p_p вероятности p к опытной оценке p_o , тем больше значение v^* и тем больше должен быть вес априорной информации в апостериорной оценке. Уменьшение величины отношения правдоподобия v^* свидетельствует об увеличении расхождения между априорными и опытными данными. В этом случае влияние априорной информации на апостериорную оценку должно уменьшаться. Поскольку вес опытной информации определяется числом опытных образцов N_c , подвергшихся испытаниям, по аналогии в

качестве коэффициента, определяющего значимость априорной информации в апостериорной оценке, предлагается использовать величину $N_p = v^* N_c$.

В этом случае априорная оценка p_p вероятности p может рассматриваться как оценка, полученная методом максимального правдоподобия по некоторой гипотетической выборке из генеральной совокупности с законом распределения (1). По аналогии с (5) для нее вводится функция

$$L(p_p, p) = C_p p^{N_p n p_p} (1-p)^{N_p n (1-p_p)},$$

где C_p — некоторая постоянная величина.

Тогда функция

$$\begin{aligned} L(p) &= L(p_o, p) L(p_p, p) = \\ &= C_o C_p p^{n(N_c p_o + N_p p_p)} (1-p)^{n[N_c (1-p_o) + N_p (1-p_p)]} \end{aligned} \quad (8)$$

содержит всю имеющуюся априорную и опытную информацию о вероятности выполнения ЛА поставленной задачи и может рассматриваться как функция правдоподобия для объединенной выборки объемом $N_p + N_c$.

Апостериорная оценка p_a вероятности p , учитывающая результаты априорных и опытных исследований системы, должна обеспечивать максимум функции $L(p)$, т. е. $p_a = \arg \max_{p>0} L(p) = \arg \max_{p>0} \ln L(p)$.

Необходимое условие максимума функции (8) по параметру p имеет вид

$$\left. \frac{\partial \ln L}{\partial p} \right|_{p=p_a} = 0,$$

или

$$\frac{n(N_c p_o + N_p p_p)}{p_a} - \frac{n[N_c (1-p_o) + N_p (1-p_p)]}{1-p_a} = 0.$$

Решением последнего уравнения является апостериорная оценка вероятности выполнения ЛА целевой задачи:

$$p_a = \frac{N_c p_o + N_p p_p}{N_c + N_p} = \frac{p_o + v^* p_p}{1 + v^*}. \quad (9)$$

Отсюда видно, что апостериорная оценка является линейной комбинацией априорной и

опытной оценок вероятности p , причем вес априорной информации тем больше, чем она ближе к опытным данным.

Определение выигрыша в качестве оценивания

Из формул (8) и (9) следует, что апостериорная оценка p_a вероятности p может рассматриваться как оценка, полученная по выборке объемом $N_a = N_c + E[v^* N_c]$, где $E[...]$ — функция округления до ближайшего целого числа. Поэтому можно говорить о выигрыше в числе испытаний, который позволяет получить метод ПОИ за счет учета априорной информации:

$$\delta_{\text{чи}} = E[v^* N_c]. \quad (10)$$

Очевидно, что выигрыш в числе испытаний будет тем больше, чем ближе априорные данные к опытным. Максимальный выигрыш $\delta_{\text{чи}} = N_o$ получается, когда априорная и опытная оценки совпадают, т. е. $p_p = p_o$. В этом случае $v^* = 1$ и полагают, что апостериорная оценка p_a вероятности выполнения ЛА поставленной задачи получена по результатам испытаний $2N_c$ опытных образцов.

При существенном отличии априорных данных от опытных величина отношения правдоподобия v^* близка к нулю и априорные данные фактически не учитываются, поскольку они могут исказить результаты натурных испытаний опытных образцов ЛА. В этом случае выигрыш в числе испытаний отсутствует.

Для определения выигрыша в точности, получаемого за счет учета априорной информации, необходимо сравнить дисперсии опытной (p_o) и апостериорной (p_a) оценок вероятности p .

Дисперсия опытной оценки (4) с учетом соотношений (2) приближенно может быть оценена по формуле

$$\begin{aligned} D[p_o] &= \frac{1}{n^2 N_c^2} \sum_{i=1}^{N_c} D[x_i] = \frac{1}{n^2 N_c^2} \sum_{i=1}^{N_c} D_x = \\ &= \frac{D_x}{n^2 N_c} = \frac{p(1-p)}{n N_c} \approx \frac{p_o(1-p_o)}{n N_c}. \end{aligned}$$

В соответствии со сделанными предположениями приближенное значение дисперсии апостериорной оценки (9) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} D[p_a] &= \frac{N_c^2 D[p_o] + N_p^2 D[p_p]}{(N_c + N_p)^2} \approx \\ &\approx \frac{N_c^2 \frac{p_o(1-p_o)}{n N_c} + N_p^2 \frac{p_p(1-p_p)}{n N_p}}{(N_c + N_p)^2} = \\ &= \frac{N_c p_o(1-p_o) + N_p p_p(1-p_p)}{n(N_c + N_p)^2} = \\ &= \frac{p_o(1-p_o) + v^* p_p(1-p_p)}{n N_c (1+v^*)^2}. \end{aligned}$$

Выигрыш в точности оценивания составляет

$$\begin{aligned} \delta_T &= \frac{D[p_o]}{D[p_a]} \approx \frac{p_o(1-p_o)(1+v^*)^2}{p_o(1-p_o) + v^* p_p(1-p_p)} = \\ &= \frac{(1+v^*)^2}{1 + v^* \frac{p_p(1-p_p)}{p_o(1-p_o)}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Если $\delta_T > 1$, то апостериорная оценка p_a вероятности p точнее опытной оценки p_o , поскольку ее дисперсия меньше, причем выигрыш в точности δ_T тем больше, чем больше величина отношения правдоподобия v^* , т. е. чем ближе априорные данные к опытным. Максимальный выигрыш $\delta_T = 2$ достигается при $v^* = 1$, что соответствует полному совпадению априорных и опытных данных. Если величина v^* мала, то выигрыш в точности может оказаться весьма незначительным. В таких случаях априорная информация является достаточно грубой и апостериорная оценка p_a вероятности выполнения ЛА целевой задачи практически совпадает с опытной p_o .

Пример

Рассматривается задача сбора сведений об объекте, расположенном в известном районе земной поверхности. Для ее решения используют дорогостоящие ЛА. Район, где расположен объект, защищен. Расчетным путем получена априорная оценка вероятности того, что ЛА преодолет систему защиты и успешно долетит до объекта: $p_p = 0,45$.

Вероятность того, что необходимые сведения об объекте будут собраны при условии, что ЛА

успешно долетели до объекта, зависит от числа ЛА и определяется в соответствии с формулой

$$q_i = 1 - 0,6^i,$$

где $i = 1, 2, \dots$ — число ЛА.

Для проверки системы защиты объекта проведены натурные испытания 6 ЛА ($N_c = 6$). Из них 4 преодолели систему защиты ($m = 4$).

Необходимо:

1. оценить вероятность того, что сведения об объекте будут собраны при использовании 5 ЛА;
2. определить минимальное число ЛА N_T , обеспечивающих сбор сведений об объекте с вероятностью не меньше $P_T = 0,9$.

Для решения первой задачи рассматривают следующие гипотезы:

- H_0 — ни один из 5 ЛА не преодолел систему защиты объекта. Вероятность этого события $P(H_0) = (1 - p)^5$, где p — вероятность того, что ЛА преодолет систему защиты;
- H_1 — 1 из 5 ЛА преодолел систему защиты объекта, $P(H_1) = C_5^1 p (1 - p)^4$;
- H_2 — 2 из 5 ЛА преодолели систему защиты объекта, $P(H_2) = C_5^2 p^2 (1 - p)^3$;
- H_3 — 3 из 5 ЛА преодолели систему защиты объекта, $P(H_3) = C_5^3 p^3 (1 - p)^2$;
- H_4 — 4 из 5 ЛА преодолели систему защиты объекта, $P(H_4) = C_5^4 p^4 (1 - p)$;
- H_5 — все 5 ЛА преодолели систему защиты объекта, $P(H_5) = p^5$.

По формуле полной вероятности определяют вероятность того, что необходимые сведения об объекте будут собраны:

$$P(5) = \sum_{i=1}^5 P(H_i) q_i = \sum_{i=1}^5 C_5^i p^i (1 - p)^{5-i} q_i.$$

Если используют только результаты априорных исследований, то априорная оценка вероятности того, что необходимые сведения об объекте будут собраны, имеет вид

$$P_p(5) = \sum_{i=1}^5 C_5^i p_p^i (1 - p_p)^{5-i} q_i \approx 0,629.$$

Поскольку для проверки системы защиты проведены натурные испытания 6 ЛА и 4 из них преодолели систему, можно получить опытную оценку вероятности того, что ЛА преодолет систему защиты и успешно долетит до объекта:

$$p_o = \frac{m}{N_c} = 0,667.$$

Тогда опытная оценка вероятности того, что необходимые сведения об объекте будут собраны, определяется по формуле

$$P_o(5) = \sum_{i=1}^5 C_5^i p_o^i (1 - p_o)^{5-i} q_i \approx 0,788.$$

Можно заметить, что оценки $P_p(5)$ и $P_o(5)$ существенно отличаются.

Для повышения достоверности принимаемого решения о вероятности $P(5)$ используем метод ПОИ, позволяющий объединить априорную и опытную информацию о системе защиты объекта. Отношение правдоподобия, характеризующее близость априорных данных к опытным, определяется по формуле (7): $v^* \approx 0,565$. Тогда апостериорная оценка вероятности того, что ЛА преодолет систему защиты и успешно долетит до объекта, согласно формуле (9) примет значение $p_a = 0,588$, а апостериорная оценка вероятности того, что необходимые сведения об объекте будут собраны, будет равна

$$P_a(5) = \sum_{i=1}^5 C_5^i p_a^i (1 - p_a)^{5-i} q_i \approx 0,739.$$

По формулам (10) и (11) можно оценить выигрыши в точности и числе испытаний, получаемые за счет использования априорной информации: $\delta_T \approx 1,5$; $\delta_{чи} \approx 3$. Таким образом, дисперсия опытной оценки примерно в полтора раза больше дисперсии апостериорной оценки, причем последняя может рассматриваться как оценка, полученная не по 6 испытаниям ЛА, а по 9.

Решение второй задачи, состоящей в определении минимального числа ЛА N_T для сбора сведений об объекте с вероятностью, не меньшей $P_T = 0,9$, может быть получено из неравенства

$$\sum_{i=1}^{N_T} C_{N_T}^i p^i (1 - p)^{N_T-i} q_i \geq 0,9.$$

Очевидно, что решение этого неравенства зависит от вероятности p , т. е. $N_T = N_T(p)$.

При априорной оценке p_p вероятности того, что ЛА преодолет систему защиты, для сбора сведений об объекте с вероятностью, не меньшей $P_T = 0,9$, потребуется минимум $N_T(p_p) = 12$ летательных аппаратов.

Если использовать опытную оценку p_o вероятности p , то для решения этой задачи потребуется $N_T(p_o) = 8$ ЛА.

При использовании наиболее точной апостериорной оценки p_a , учитывающей результаты априорных исследований и натурных испытаний, минимальное число ЛА, обеспечивающих достижение цели, $N_T(p_a) = 9$.

Из рассмотренного примера видно, что априорная оценка p_p вероятности того, что ЛА преодолеет систему защиты объекта, является заниженной. Это может быть связано с неадекватностью используемых при ее расчете моделей. Опытная информация о системе является достоверной, но ограничена по объему. Вследствие этого полученная на ее основе опытная оценка p_o нуждается в уточнении. Совместная обработка всей имеющейся информации позволила получить более точную апостериорную оценку p_a вероятности p и показать, что для решения целевой задачи с вероятностью, не меньшей $P_T = 0,9$, необходимо использовать минимум 9 ЛА.

Заключение

Оценки эффективности применения перспективных летательных аппаратов, получаемые по результатам испытаний ограниченного числа опытных образцов, обладают низкой точностью [18]. Для повышения качества оценивания необходимо использовать априорную информацию, полученную на этапах, предшествующих испытаниям. При этом основная проблема состоит в выборе весовых коэффициентов, определяющих значимость априорных и опытных данных в апостериорных оценках. Для ее решения использован метод приоритета опытной информации, позволивший существенно повысить точность оценивания вероятности выполнения летательным аппаратом целевой задачи и, как следствие, уменьшить риск принятия ошибочных решений при планировании применения ЛА по назначению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренок В. М., Найденов В. М. Испытательная база: выход из кризиса // Воздушно-космическая оборона. 2009. № 1 (44). С. 18–25.
2. Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г. и др. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем: учеб. пособие. — М.: Логос, 2003. — 736 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учебник для студ. вузов. Изд. 9. — М.: Изд. центр "Академия", 2003. — 576 с.
4. Городецкий В. И. и др. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / под ред. Юсупова Р. М. — Л.: Энергия, 1978. — 192 с.
5. Фроленков К. В. Уточнение оценок вероятностей при локальном апостериорном выводе алгебраической байесовской сети в случае неточного свидетельства // Труды СПИИРАН. 2013. № 1 (24). С. 152–164.
6. Сайпулаева Г. А., Дандамаев А. У. Разработка методики априорной и апостериорной оценки трудозатрат в системе технического обслуживания и ремонта // Системные технологии. 2016. № 3 (20). С. 43–52.
7. Храменков А. С., Ярмолик С. Н. Алгоритм последовательного распознавания радиолокационных объектов, обеспечивающий минимизацию среднего риска принимаемых решений // Доклады Белорусского государственного университета. 2016. № 2 (96). С. 37–43.
8. Тулупьев А. Л. Апостериорные оценки вероятностей в алгебраических байесовских сетях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2012. № 2. С. 51–59.
9. Шараханэ А. С., Халецкий А. К., Морозов И. А. Оценка характеристик сложных автоматизированных систем. — М.: Машиностроение, 1993. — 272 с.
10. Щербаков П. С. Использование априорной информации для уточнения оценок параметров // Изв. АН СССР. Автом. и телемех. 1988. № 5. С. 80–89.
11. Бондаренко В. А., Ярица А. И. Сравнительный анализ априорной и апостериорной оценок точности плановой геодезической сети с помощью программного комплекса "Россия–Беларусь", разработанного в Полоцком государственном университете // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F: Строительство. Прикладные науки. 2014. № 16. С. 92–95.
12. Буряк Ю. И., Скрынников А. А. Повышение степени обоснованности принимаемых решений в системе распознавания за счет использования априорной информации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 220 (10). С. 47–54.
13. Пугачев В. Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. — М.: Сов. радио, 1973. — 256 с.
14. Коробов Б. В. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов "влияющих факторов" // Социология: методология, методы, математическое моделирование. 2005. № 20. С. 54–73.

15. Ардашов А. А., Арсеньев В. Н., Силантьев С. Б. Метод обработки неоднородной статистической информации о характеристиках точности системы управления // Информационно-управляющие системы. 2015. № 5 (78). С. 55—59.
16. Арсеньев В. Н., Силантьев С. Б., Ядренкин А. А. Использование априорной информации для коррекции модели потока событий в сложной системе // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 5. С. 391—397.
17. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика. Изд. 2., исправл. и доп. — М.: Физматлит, 2002. — 496 с.
18. Арсеньев В. Н. Новые методы принятия решений при ограниченных экспериментальных данных. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 1999. — 90 с.

METHOD FOR IMPROVING THE QUALITY OF ESTIMATING THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF PERSPECTIVE AIRCRAFT

V. N. Arsenyev

Military Space Academy named A. F. Mozhaysky, St. Petersburg, Russia

D. P. Dubinin

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

The task of evaluating the effectiveness of the application of a promising aircraft based on the results of a priori research and testing of a limited number of prototypes is considered. To solve it, the method of priority of experimental information was used, which made it possible to increase the accuracy of estimation and get a gain in the number of tests. It is shown that the application of the obtained a posteriori estimate of the likelihood of an aircraft performing the target task reduces the risk of making erroneous decisions when planning the use of the aircraft for the intended purpose.

Keywords: aircraft, application efficiency, a priori information, limited field tests, gains in accuracy and number of tests.

Bibliography — 18 references.

Received November 1, 2019

УДК 699.88

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОТЕЧЕК И ПРОРЫВОВ ПАРА В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНЫХ И ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В. С. Кондратенко, д-р техн. наук; *А. Ю. Рогов*

ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», Москва, Россия

Ю. И. Сакуненко, канд. техн. наук

ООО «ТЕРМОИНТЕРФЕЙСЫ», Москва, Россия

М. А. Слепцов, канд. техн. наук

ООО «Т8», Москва, Россия

Рассмотрены принципы обнаружения протечек и прорывов пара на локальных и протяженных объектах с различной площадью контроля с помощью нового типа детекторов — сорбционных кабельных сенсоров. Показаны недостатки традиционных сенсоров, связанные с механизмом их срабатывания в скоплении жидкости и ограничениями мест размещения. Сорбционные кабельные сенсоры протечек воды и углеводородов, прорывов пара за счет высокой чувствительности позволяют осуществлять контроль протечек и прорывов пара в 3D-пространстве локальных и протяженных объектов и открывают новые возможности в сокращении времени обнаружения аварийных событий и принятии своевременных мер по предотвращению развития ущерба.

Ключевые слова: сорбционный кабельный сенсор, протечка, пар, локальный объект, протяженный объект, зонный принцип контроля, линейный принцип контроля.

Контроль технического состояния критических объектов в связи с повышенными требованиями к их безопасности становится обязательной процедурой в течение всего периода эксплуатации объекта. Данную процедуру принято называть мониторингом технического состояния объекта контроля. Он проводится периодически или в автоматическом режиме с помощью разнообразных инструментальных средств. Чем крупнее объект, тем сложнее организованы его системы безопасности, обеспечения теплом, водой, электроэнергией, телеком-

муникациями. Проблемы управления эксплуатацией объекта решают при помощи комплексных систем мониторинга и диспетчеризации [1].

В зависимости от площади, на которой требуется осуществлять контроль, например протечек воды, объекты можно разделить на локальные и протяженные. Соответственно принципы построения, технические решения систем мониторинга и обнаружения протечек для таких объектов будут различаться.

Обнаружение протечек воды на локальных объектах с помощью традиционных гидросенсоров

Системы контроля протечек воды зародились в 70-х гг. XX в. за рубежом вместе с быстрым ростом и распространением компьютерных центров, оснащаемых энергоемкими компьютерами с мощными системами охлаждения, использующими в том числе хладагенты на водной основе, что повышало риск возникновения протечек и порчи дорогостоящего оборудования. В качестве гидросенсоров первых систем обнаружения протечек использовали точечные датчики, сначала постоянного тока, а затем и переменного, которые срабатывали при замыкании электроконтактов при заливе. По номеру сработавшего датчика определяли место протечки [2].

Кондратенко Владимир Степанович, профессор.

E-mail: vsk1950@mail.ru

Рогов Александр Юрьевич, заместитель директора Физико-технологического института по инновационному развитию.

E-mail: ray40@yandex.ru

Сакуненко Юрий Иванович, генеральный директор.

E-mail: vsk1950@mail.ru

Слепцов Михаил Алексеевич, заместитель генерального директора.

E-mail: vsk1950@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16 января 2020 г.

© Кондратенко В. С., Рогов А. Ю., Сакуненко Ю. И., Слепцов М. А., 2020

Для предотвращения ложных срабатываний электроконтактные пластины были приподняты над полом за счет выступов в нижней части корпуса датчика [3] и замыкались при условии скопления вокруг гидросенсора воды с уровнем h (рис. 1).

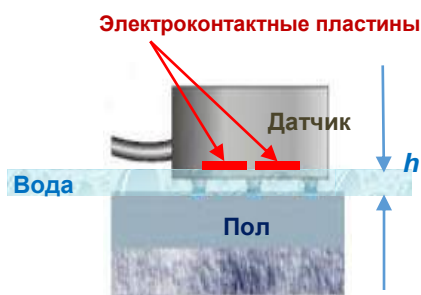


Рис. 1. Принцип срабатывания традиционного гидросенсорного точечного датчика

Точечные гидросенсоры применяют в системах контроля протечек на ограниченных площадях локальных промышленных объектов и домохозяйств.

На промышленных объектах гидросенсоры размещают в специально оборудованных местах для сбора воды. Это могут быть поддоны систем кондиционирования, лотки под местами разветвлений труб, запорной арматуры и т. д.

В домохозяйствах эффективность использования точечных гидросенсоров обеспечивается оптимизацией их числа на единицу площади и установкой в местах с минимальным уровнем пола. Однако эти меры не всегда срабатывают, например, если поверхность размещения датчика имеет уклон (рис. 2).

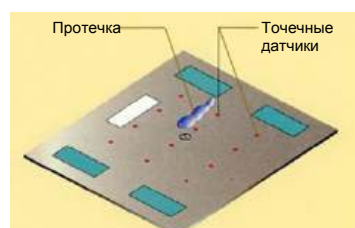


Рис. 2. Принцип построения зоны контроля протечек с помощью точечных датчиков

В целях расширения зоны гарантированного обнаружения протечки вне зависимости от места ее появления (рис. 3) с 80-х гг. XX в. стали активно применять гидросенсорные кабели [4–6].

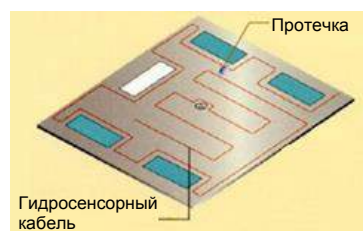


Рис. 3. Принцип построения зоны контроля протечек с помощью гидросенсорного кабеля

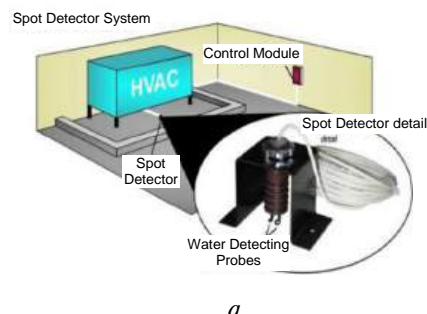
Для срабатывания гидросенсорного кабеля, так же как и для точечного датчика, необходимо скопление воды определенного уровня h вокруг любого из его участков, чтобы замкнуть электропроводящие сенсорные жилы, утопленные внутри несущего полимерного сердечника (рис. 4).



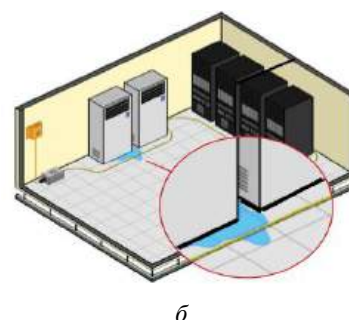
Рис. 4. Принцип срабатывания традиционного гидросенсорного кабеля

Из-за аналогичного принципа срабатывания, как у точечного гидросенсора, традиционный гидросенсорный кабель также размещают в местах возможного скопления воды, но при этом площадь контроля неизмеримо увеличивается.

Примеры типовых технических решений по организации контроля протечек с помощью точечных и кабельных гидросенсоров показаны на рис. 5: точечный датчик размещен в специальном поддоне климатической установки (рис. 5, а), кабельный гидросенсор проложен на полу в непосредственной близости от контролируемого оборудования (рис. 5, б).



а



б

Рис. 5. Контроль протечек с помощью традиционных гидросенсоров:
а — точечного в поддоне;
б — кабельного на полу вокруг оборудования

В условиях локального объекта не представляет сложности определить местоположение протечки, применив так называемый зонный принцип контроля, когда ограниченная площадь объекта делится на зоны, в которых размещают номерные точечные или кабельные сенсоры (рис. 6).

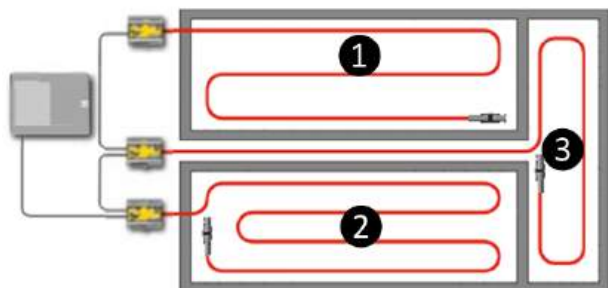


Рис. 6. Зонный принцип обнаружения местоположения протечки

По номеру сработавшего сенсора (1; 2; 3) система контроля однозначно определяет зону, в которой произошла протечка.

К локальным промышленным объектам можно отнести:

- небольшие серверные комнаты;
- инфраструктура климат-контроля;
- насосные станции и тепловые пункты;
- офисные центры;
- склады с небольшой площадью;
- административные здания;
- медучреждения;
- гостиницы.

Характерными локальными непромышленными объектами являются домохозяйства (коттеджи, квартиры), многоквартирные жилые дома и т. д.

При росте площади контроля у протяженных объектов увеличение числа точечных датчиков или отдельных кабелей ограниченной длины приводит к значительному усложнению системы контроля и становится экономически нецелесообразным.

Обнаружение протечек воды на протяженных объектах с помощью традиционных кабельных гидросенсоров большой длины

Если объект протяженный или имеет большую площадь контроля, то для обнаружения протечек используют, как правило, один линейный гидросенсорный кабель большой длины (от 50 до 5000 футов, или 15,24—1524 м) [7], проложенный, например, под фальшполом (рис. 7).

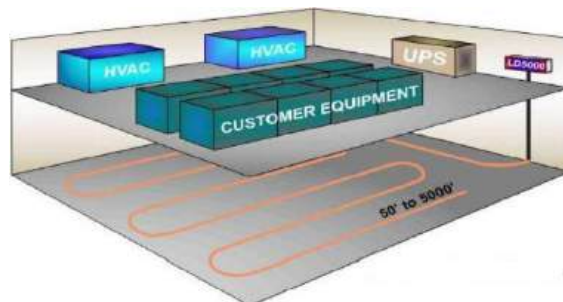


Рис. 7. Контроль протечек с помощью гидросенсорного кабеля большой длины

Местоположение воздействия протечки, которое приводит к замканию участка гидросенсорного кабеля и закорачиванию электропроводящих сенсорных жил, определяют вычислительным блоком системы обнаружения протечек по значению падения напряжения V_2 , пропорциональному расстоянию до места залива (рис. 8).

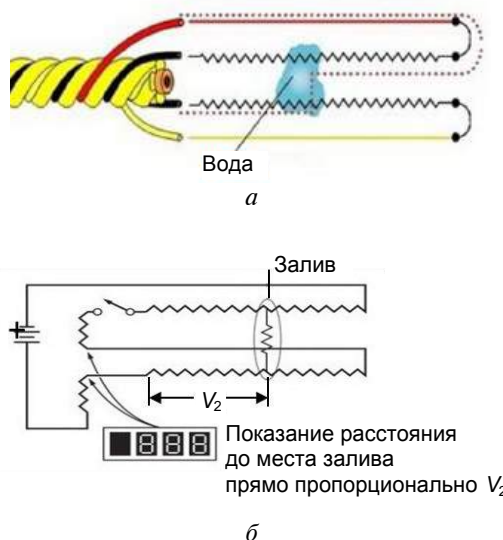


Рис. 8. Принцип определения расстояния до места воздействия протечки на гидросенсорный кабель:

а — замыкание водой сигнальных жил; б — эквивалентная электрическая схема измерения расстояния до места залива кабеля

Данное техническое решение раскрывает сущность линейного способа контроля с использованием одного сенсорного кабеля большой длины и системы определения расстояния до участка замкания.

Для повышения точности локализации места протечки при использовании линейного способа контроля одновременно с прокладкой гидросенсорного кабеля составляют карту кабельного маршрута с привязкой к схеме размещения кон-

тролируемого оборудования или коммуникаций. При этом показание системы контроля протечек в метрах идентифицирует зону источника протечки.

К протяженным объектам с большой площадью контроля относят такие промышленные объекты, как:

- теплоэлектроцентрали (ТЭЦ);
- атомные электростанции (АЭС);
- промышленные предприятия;
- центры обработки данных (ЦОД);
- торгово-развлекательные комплексы (ТРК);
- складские комплексы;
- хранилища Госрезерва и подобные по площади;
- архивы;
- трубопроводы;
- другие критически важные объекты (КВО).

Таким образом, системы контроля протечек на основе традиционных точечных и кабельных гидросенсоров имеют общие недостатки:

- условием срабатывания является скопление жидкости определенного уровня (лужа) вокруг точечного датчика или участка кабеля для замыкания сенсорных контактов (жил у кабеля);
- ограничения по местам размещения (только на поверхностях, где жидкость может скопиться — 2D-поверхности);
- порог чувствительности в ряде ответственных применений недостаточен для фиксации первых признаков протечек (появление капель, микротечей, движение фронта увлажнения поверхности);
- *главный недостаток* — задержка по времени обнаружения факта протечки (пока лужа требуемой глубины образовывается, протечка не может быть обнаружена и ущерб продолжает расти).

Следует отметить, что не существует автоматизированных систем контроля прорывов пара. Данное обстоятельство связано с тем, что перегретый пар в паротурбинных установках ТЭЦ имеет температуру 300—500 °С [8] и при прорыве паропровода в районе свища из-за высокой температуры не образует конденсата, который можно собрать в подвесном лотке в виде лужи.

Новые подходы к контролю протечек на локальных и протяженных объектах с помощью сорбционного кабельного сенсора

Разработанные отечественные сорбционные кабельные сенсоры (СКС) (рис. 9) призваны решить основную существующую проблему кон-

троля протечек — задержку во времени их обнаружения.

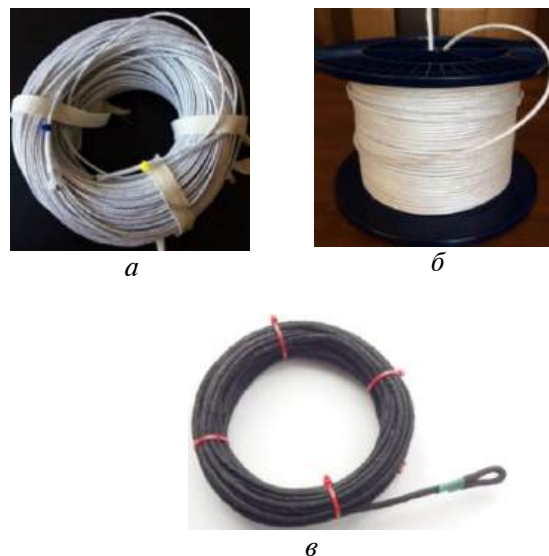


Рис. 9. Сорбционные кабельные сенсоры воды и пара (а, б), углеводородов (в)

Используемый сорбционный механизм обеспечивает СКС высокую чувствительность, которая позволяет детектировать первые признаки протечек и прорывов пара: появление капель, микротечей, резкого локального повышения уровня влажности в месте прорыва пара, а при детектировании углеводородов за счет электрохимических реакций обеспечивает значительно меньшее время срабатывания СКС углеводородов [9, 10].

Высокая чувствительность СКС снимает с него ограничения по месту размещения и позволяет прокладывать по точкам в пространстве, где появление первых признаков протечек наиболее вероятно, что является еще одним значимым фактором сокращения времени обнаружения аварийных событий.

На рис. 10 показаны возможные места размещения СКС, недоступные традиционным кабельным и точечным гидросенсорам.

Системы контроля протечек на основе СКС для локальных и протяженных объектов также могут реализовать зонный и линейный принцип контроля, но благодаря уникальным свойствам сорбционного кабеля такие системы будут значительно эффективнее по сравнению с традиционными системами контроля протечек.

Возможность детектирования первых признаков протечек и прорывов пара определяет превосходство систем на основе СКС по критерию времени обнаружения аварийных событий.

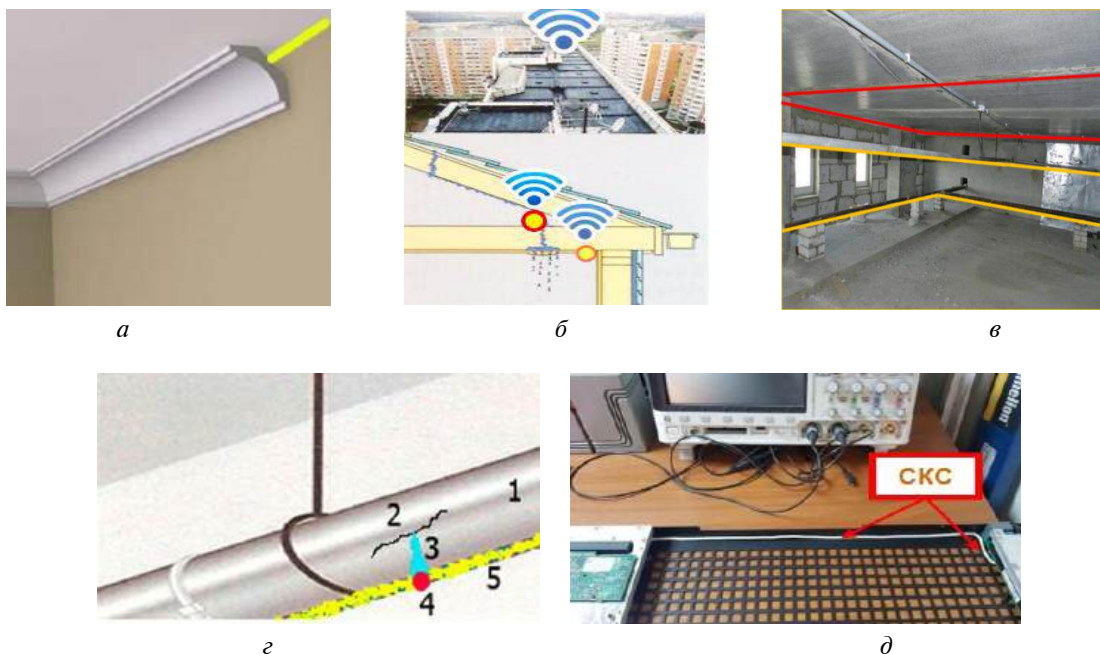


Рис. 10. Примеры размещения СКС:

a — потолочный контур; *б* — чердаки крыш; *в* — потолки и коммуникации технических этажей;
г — трубопроводы жидкости или пара; *д* — вычислительные узлы суперкомпьютера с жидкостным охлаждением

Впервые с помощью СКС возможно контролировать:

- стыки элементов крыш со стороны чердачного пространства;
- потолочные контуры промышленных помещений и домохозяйств (квартир);
- поверхность нижней части трубопроводов;
- элементы запорной арматуры и стыковочных узлов инфраструктуры водоснабжения;
- радиаторы жидкостного охлаждения РЭА;
- пространство под днищами бытовой техники домохозяйств, а также под сифонами моек, ванн, душевых кабин и т. д.

На рис. 11 показан пример размещения СКС на нижней части паропровода, детектирующего локальное изменение относительной влажности воздуха при разгерметизации паропровода (струи пара).



Рис. 11. Детектирование местоположения прорыва паропровода с помощью СКС

Преимуществами СКС и систем контроля на их основе являются:

- сверхвысокая чувствительность (от 50 мг — капля из пипетки);
- размещение в любых точках 3D-пространства, где протечка наиболее вероятна;
- обеспечение раннего обнаружения протечек по первым признакам (появление капель, микро-течей; не требуется время на образование лужи);
- детектирование прорывов пара по изменению уровня влажности окружающей среды;
- возможность создания на базе СКС автоматизированных систем контроля протечек, способных работать в условиях изменения уровня относительной влажности воздуха в широких пределах;
- невысокая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами;
- возможность реализации нерешаемых традиционной гидросенсорикой задач (детектирование протечек непосредственно в корпусах РЭА; организация контроля протечек крыш, потолочных контуров и т. д.).

Примером реализации зонного принципа контроля протечек и влажности среды на локальном объекте является внедрение СКС в контрольную систему российских суперкомпьютеров с жидкостным охлаждением вычислительных узлов.

Весной 2019 г. СКС в качестве сенсоров влажности и детекторов протечек были установ-

лены в вычислительных узлах с жидкостным охлаждением суперкомпьютера им. Н. Н. Говоруна, размещенного в лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна, Московская обл.), для обеспечения эффективного обнаружения первых признаков протечек: появления капель и микротечей, а также контроля интегрального уровня влажности во внутреннем пространстве каждого вычислительного узла в целях недопущения возникновения "точки росы" [11].

Вторым успешным проектом создания системы контроля протечек в высокопроизводительных вычислительных системах с жидкостным охлаждением с помощью СКС стал суперкомпьютер МВС-10П Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН), который занимает 30-е место по результатам рейтинга Green500 (1949 МФЛОПС/Ватт) [12].

На рис. 12 продемонстрирована сверхплотная компоновка вычислительных узлов с жидкостным охлаждением (открытый серверный шкаф слева) (рис. 12, а), в каждом из которых по периметру проложен отрезок СКС (рис. 12, б), имеющий персональный идентификационный номер.



а



б

Рис. 12. Суперкомпьютер им. Н. Н. Говоруна (ЛИТ ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл.):

сверхплотная компоновка вычислительных узлов с жидкостным охлаждением (открытый серверный шкаф слева) (а); размещение СКС по периметру корпуса вычислительного узла (б)

Другие возможные проекты реализации зонного принципа контроля с помощью СКС на

локальных объектах: контроль протечек на автоматизированной насосной станции (рис. 13, а) и резервуаров хранения углеводородов (рис. 13, б).



а



б

Рис. 13. Возможные проекты реализации зонного принципа контроля с помощью СКС на локальных объектах:

а — контроль протечек на автоматизированной насосной станции; б — резервуаров хранения углеводородов

На автоматизированной насосной станции (рис. 13, а) отрезки СКС необходимой длины прокладывают по критичным точкам в пространстве размещения насосов и их сопутствующей запорной арматуры. Если система контроля протечек объединяет несколько таких насосных станций (базовых станций), то при срабатывании какого-нибудь сенсора базовая станция пересылает информационное сообщение на центральный диспетчерский пункт о своем номере и номере насоса на ней, на котором случилась протечка.

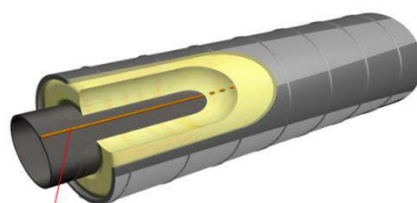
На резервуаре хранения (рис. 13, б) с помощью отрезков СКС углеводородов возможно организовать также зонный (секторальный) контроль разлива углеводородов.

Примеры протяженных объектов, на которых возможно детектирование протечек с использованием линейных СКС большой длины:

- крыши крупных торговых (торгово-развлекательных) комплексов (СКС размещаются по стыкам элементов крыши), рис. 14, а;
- подземные трубопроводы (СКС интегрирован в пенополиуретановую теплоизоляцию), рис. 14, б;
- нефтепроводы наземной прокладки (СКС-углеводородов размещается под ними), рис. 14, в.



а



б



в

Рис. 14. Примеры организации контроля протечек на протяженных объектах:

а — протечек крыши крупных торговых (торгово-развлекательных) комплексов линейными СКС большой длины, размещенными по стыкам элементов крыши;
б — целостности подземного трубопровода с помощью линейного СКС, интегрированного в пенополиуретановую теплоизоляцию; в — нефтепровода наземной прокладки с помощью СКС-углеводородов, размещенного в зоне под ним

При организации контроля протечек на протяженных объектах с помощью линейных СКС большой длины в отличие от зонного принципа контроля на локальных объектах процесс определения местоположения протечки осуществляют поэтапно: обнаружение факта воздействия жидкости протечки на кабель и определение местоположения данного воздействия.

Детектирование факта воздействия жидкости протечки на линейный СКС производят такими же устройствами, как и на локальных объектах, например с помощью дифференцирующего порогового устройства [13], а определение местоположения данного воздействия может быть зафиксировано методом импульсной рефлектометрии [14].

На рис. 15 приведена рефлектограмма коаксиального СКС с характерным провалом ниже горизонтальной оси, характеризующим участок замкания кабеля.



Рис. 15. Рефлектограмма коаксиального СКС с замкшим участком на расстоянии 15,2 м от начала кабеля

Расстояние на рефлектограмме до начала провала амплитуды сигнала (ниже горизонтальной оси) определяет расстояние до начала замкнутого участка.

Свойство СКС регистрировать изменения уровня влажности окружающей среды можно использовать при построении автоматизированных систем контроля прорывов пара. Если СКС разместить непосредственно на поверхности паропровода, то при прорыве даже перегретого пара в области разгерметизации (свища) относительно быстро возникнет локальное изменение уровня относительной влажности воздуха, которое может быть зафиксировано дифференцирующим пороговым устройством, а местоположение увлажненного участка кабеля может быть определено оператором по рефлектограмме.

Заключение

Разработанные в России СКС позволяют принципиально повысить эффективность систем контроля протечек и прорывов пара за счет сокращения времени обнаружения этих аварийных событий и принятия своевременных мер по предотвращению развития ущерба.

Приведенные в работе примеры внедрения СКС на российских суперкомпьютерах с жидкостным охлаждением вычислительных узлов и описание возможных технических решений по контролю протечек воды и углеводородов демонстрируют широкий спектр возможностей по

дальнейшему внедрению сорбционных кабельных сенсоров на локальных и протяженных объектах.

Сверхчувствительность СКС также открывает перспективы по созданию систем контроля из-

менений относительной влажности воздуха как косвенного признака начала процесса разгерметизации систем водооборота в контролируемом пространстве, в том числе факта прорыва перегретого пара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг и управление инженерными системами зданий и сооружений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/monitoring-i-upravlenie-inzhenernymi-sistemami.html> (дата обращения: 22.11.2019).
2. Water Leak Detection [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.articlesfactory.com/articles/business/water-leak-detection.html> (дата обращения: 22.11.2019).
3. Системы защиты от протечек [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://remstd.ru/archives/antipotopnyie-sistemyi-dlya-doma/> (дата обращения: 22.11.2019).
4. Sensing Cables For Leak Detection Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rletech.com/product-category/leak-detection-equipment/sensing-cables/> (дата обращения: 22.11.2019).
5. Nvent Raychem TraceTek [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nventthermal.com/application/water-leak-detection/commercial-and-housing-facilities/> (дата обращения: 22.11.2019).
6. Water Leakage Detection System [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bartec.de/en/products/heating-technology/water-detection/system-overview/water-leakage-detection-system/> (дата обращения: 22.11.2019).
7. Water Leak Detection Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docho.net/philosophy-of-money.html?utm_source=water-leak-detection-systems (дата обращения: 22.11.2019).
8. Зачем ТЭЦ нужен пар [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sibgenco.online/news/element/why-would-the-tpc-want-steam/> (дата обращения: 22.11.2019).
9. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И. Сорбционный гидросенсорный кабель — новые возможности // РИТМ. 2015. № 1. С. 40—42.
10. Кондратенко В. С., Рогов А. Ю., Кобыш А. Н. Новый подход к контролю утечек углеводородных жидкостей на борту летательного аппарата // Труды МАИ. 2018. № 102. URL: http://trudymai.ru/upload/iblock/1b8/Kondratenko_Rogov_Kobysh_rus.pdf?lang=ru&issue=102
11. Кондратенко В. С., Рогов А. Ю., Дружинин Е. А. Контроль протечек и влажности с помощью сорбционного кабельного сенсора в высокопроизводительных вычислительных системах с жидкостным охлаждением // Электронные информационные системы. 2019. № 1. С. 5—18.
12. МСЦ РАН — вычислительные системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://old.jssc.ru/scomputers.html> (дата обращения: 22.11.2019).
13. Кондратенко В. С., Рогов А. Ю., Андреев Н. М., Дружинин Е. А., Катенев А. В. Особенности обнаружения протечек с помощью сорбционного кабельного сенсора в условиях колебаний относительной влажности воздуха: сб. докладов конф. "Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике". — М.: РТУ МИРЭА, 2019. Т. 2. С. 30—43.
14. Рогов А. Ю. Повышение эффективности обнаружения протечек с помощью сорбционных кабельных сенсоров // Базис. 2019. № 2 (6). С. 21—28.

APPLICATION OF SORPTION CABLE SENSORS FOR LEAK CONTROL AND TO CONTROL STEAM BREAKOUTS IN CONDITIONS OF LOCAL AND EXTENDED OBJECTS

V. S. Kondratenko, A. Yu. Rogov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"MIREA — Russian Technological University", Moscow, Russia

Yu. I. Sakunenکو

"TERMOINTERFEYSY" LLC, Moscow, Russia

M. A. Sleptsov

"T8" LLC, Moscow, Russia

This article discusses the principles of detection of leaks and breakouts of steam on local and extended objects with different control area using a new type of detectors-sorption cable sensors. Disadvantages of traditional sensors associated with the mechanism of their operation in the accumulation of liquid and restrictions of placement are shown. Sorption cable sensors of water and hydrocarbon leaks, steam breakouts, due to high sensitivity allow monitoring of leaks and steam breakouts in the 3D space of local and extended objects and open up new opportunities in reducing the time of detection of emergency events and taking timely measures to prevent the development of damage.

Keywords: sorption cable sensor, leakage, steam, local object, extended object, zone control principle, linear control principle.

Bibliography — 14 references.

Received January 16, 2020

УДК 621

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ОТБРАКОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СВЧ-МОДУЛЕЙ

А. Ю. Кирьянов

ОАО «НПП «Пульсар», Москва, Россия

Для повышения качества промышленной продукции экономически выгодным мероприятием является внедрение в производство испытательных стендов для отбраковочных испытаний твердотельных СВЧ-модулей.

Ключевые слова: испытания, испытательный стенд, твердотельные СВЧ-модули, качество, экономическая эффективность.

Повышение эффективности производства, ориентированного на высокое качество продукции, и, как следствие, дальнейшее усиление позиций предприятия в своем секторе рынка — одна из актуальных задач. Экономический эффект от изменения качества — денежное выражение экономического результата, связанного с изменением качества, может быть как положительным, так и отрицательным. Один из важных видов экономического эффекта при обеспечении качества — предотвращенный убыток, т. е. не возникший отрицательный экономический результат благодаря мерам по обеспечению качества [1].

Технико-экономический эффект от внедрения отбраковочных испытаний на предприятии обусловлен следующими факторами: сокращением затрат на проведение ремонтов аппаратуры в эксплуатации, так как уменьшается их число, стоимость работ по устранению дефектов в заводских условиях ниже, чем в условиях эксплуатации, а качество ремонта существенно выше; сокращением простоев аппаратуры в эксплуатации, снижением штрафов за отказы аппаратуры в период гарантийного обслуживания и т. д. [2].

Численное значение эффективности внедрения в производство стендов для отбраковочных испытаний определяется разницей между экономией, достигаемой за счет сокращения числа ремонтов аппаратуры в условиях эксплуатации, а также за счет поставки в эксплуатацию аппаратуры, имеющей более высокую надежность, и затратами на организацию и проведение отбраковочных испытаний.

Кирьянов Александр Юрьевич, ведущий инженер.
E-mail: kirjanov_aj@pulsarnpp.ru

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2019 г.

© Кирьянов А. Ю., 2020

Теоретическая часть

Расчет затрат на проведение отбраковочных испытаний. Затраты на проведение отбраковочных испытаний определяются как [2]

$$C_{\text{ои}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l C_{io} t_{ij} / K_{ij},$$

где C_{io} — приведенная стоимость эксплуатации i -го типа испытательного оборудования, руб./ч;

t_{ij} — длительность отбраковочных испытаний аппаратуры j -го уровня разукрупнения, проводимых на i -м типе испытательного оборудования, ч;

K_{ij} — количество составных частей аппаратуры j -го уровня разукрупнения, одновременно испытываемых на i -м типе испытательного оборудования, ч.

Параметр $j = 1, 2, \dots, l$ определяет количество уровней разукрупнения аппаратуры, подвергаемых отбраковочным испытаниям. Параметр $i = 1, 2, \dots, k$ определяет количество видов испытаний.

Средняя стоимость работ по устранению дефекта (ремонту) в заводских условиях $C_{\text{зав}j}$ включает стоимость работ по локализации места дефекта в аппаратуре j -го уровня разукрупнения, стоимость работ по ремонту, а также стоимость работ по проверке работоспособности отремонтированного изделия (руб./дефект).

С учетом этого годовые затраты на работы по устранению дефектов в заводских условиях равны

$$C_{\text{зав}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l C_{\text{зав}j} P_{ij} N_{ij},$$

где $C_{\text{зав}j}$ — средняя стоимость работ по устранению дефекта аппаратуры j -го уровня разукрупнения в заводских условиях;

P_{ij} — среднее число дефектов на одно изделие j -го уровня разукрупнения, выявленных при i -м виде отбраковочных испытаний;

N_{ij} — число испытываемых изделий.

Дефекты аппаратуры, не выявленные в процессе отбраковочных испытаний, устраняют в условиях эксплуатации.

Затраты на ремонт одного комплекта аппаратуры j -го уровня разукрупнения в условиях эксплуатации $C_{экj}$, кроме стоимости работ, аналогичных проводимым на заводе, включают также расходы на командирование представителя завода в места эксплуатации изделий, расходы на возврат отказавшего изделия на завод, на доставку отремонтированного изделия в места эксплуатации, на доставку необходимого запасного имущества, приборов, измерительной техники и т. д. (руб./дефект). При отсутствии реальных данных рекомендуется стоимость работ по устранению дефектов в эксплуатации принимать в среднем в 5—7 раз большей, чем в заводских условиях [2].

С учетом изложенного годовые затраты на ремонт аппаратуры в условиях эксплуатации и выплату штрафов пропорциональны числу не выявленных дефектов и равны

$$C_{эк} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (C_{гар} + C_{экj}) (P_{oij} - P_{ij}) N_{ij},$$

где $C_{гар}$ — затраты за каждый отказ аппаратуры в период ее гарантийного обслуживания;

P_{oij} — среднее число дефектов на одно изделие j -го уровня разукрупнения до внедрения отбраковочных испытаний, которое может быть выявлено при проведении отбраковочных испытаний при i -м виде испытаний;

P_{ij} — среднее число дефектов на одно изделие j -го уровня разукрупнения, выявленных при i -м виде отбраковочных испытаний;

N_{ij} — среднее число j -х изделий, поставленных в эксплуатацию за данный период времени и прошедших отбраковочные испытания.

При необходимости могут быть учтены дополнительные затраты $C_{дп}$, равные сумме затрат, связанных с организационно-подготовительными работами.

Общие затраты $C_{об}$ на внедрение и проведение отбраковочных испытаний, а также на

устранение в эксплуатации не выявленных при проведении отбраковочных испытаний дефектов равны

$$C_{об} = C_{ои} + C_{зав} + C_{эк} + C_{дп}.$$

Выявление и устранение части дефектов до передачи изделий на приемо-сдаточные испытания и другие виды контрольных испытаний приводит к сокращениям числа отказов на этих испытаниях и сокращению их объемов. Экономический эффект достигается за счет сокращения следующих затрат:

- $\Delta \mathcal{E}_{ис}$ — на проведение приемо-сдаточных (квалификационных, периодических, типовых) испытаний, так как в соответствии с [3] при выявлении дефекта в процессе проведения контрольных испытаний после устранения дефекта должны проводиться повторные испытания, что увеличивает длительность и стоимость контрольных испытаний;

- $\Delta \mathcal{E}_{зип}$ — на поставку запасных частей, имущества, инструментов, приспособлений, необходимых для ремонта аппаратуры в эксплуатации, а также на их транспортировку и хранение в местах эксплуатации;

- $\Delta \mathcal{E}_{вход}$ — на проведение контрольных (проверочных) работ на входном контроле аппаратуры при приемке заказчиком (потребителем);

- $\Delta \mathcal{E}_{ш}$ — на выплаты штрафов за отказы аппаратуры в период гарантийного обслуживания; они пропорциональны числу выявленных дефектов при отбраковочных испытаниях:

$$\Delta \mathcal{E}_{ш} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l C_{гар} P_{ij} N_{ij};$$

- $\Delta \mathcal{E}_{рем}$ — на ремонт; они пропорциональны числу выявленных дефектов при отбраковочных испытаниях:

$$\Delta \mathcal{E}_{рем} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (C_{эк} - C_{зав}) P_{ij} N_{ij}.$$

С учетом изложенного экономия $\mathcal{E}_{ои}$ от внедрения отбраковочных испытаний равна

$$\mathcal{E}_{ои} = \Delta \mathcal{E}_{ис} + \Delta \mathcal{E}_{зип} + \Delta \mathcal{E}_{вход} + \Delta \mathcal{E}_{ш} + \Delta \mathcal{E}_{рем}.$$

Отбраковочные испытания целесообразно внедрять, если

$$\mathcal{E}_{ои} - C_{об} > 0,$$

т. е. при условии, что затраты на организацию и проведение отбраковочных испытаний меньше достигаемой при этом экономии.

Практическая часть

Рассчитаем на примере технико-экономический эффект от внедрения в производство испытательного стенда для отбраковочных испытаний твердотельных СВЧ-модулей, применяемых в радиолокационных станциях (РЛС). Стенд предназначен для одного вида испытаний одновременно четырех твердотельных СВЧ-модулей [4].

Вычислим приведенную стоимость работы стенда. Затраты на комплектацию стенда $C_{\text{зат}}$ составляют 1 450 000 руб. Срок службы стенда $T_{\text{служ}} = 10$ лет. Фонд оплаты труда на разработку и производство стенда $C_{\text{раз}} = 2\,100\,000$ руб. Стоимость годового технического обслуживания стенда $C_{\text{об}} = 50\,000$ руб. Потребление электроэнергии стендом $C_{\text{эл}} = 2\text{ кВт/ч}$ и по текущему тарифу составляет 11 руб./ч.

Приведенная стоимость работы стенда за один час работы составит

$$\begin{aligned} C_{\text{прив}} &= \frac{C_{\text{зат}} + C_{\text{раз}}}{T_{\text{служ}}} + C_{\text{об}} + C_{\text{эл}} = \\ &= \frac{1450000 \text{ руб.} + 2100000 \text{ руб.}}{10 \cdot 8760 \text{ ч}} + \\ &+ \frac{50000 \text{ руб.}}{8760 \text{ ч}} + \frac{11 \text{ руб.}}{1 \text{ ч}} = 57,23 \text{ руб./ч.} \end{aligned}$$

С учетом инфляции, повышения тарифов на электроэнергию округлим значение приведенной стоимости в большую сторону, до 58 руб./ч.

С учетом того, что приведенная стоимость составляет 58 руб./ч, длительность испытаний каждого из четырех модулей — 72 ч., а общее количество испытываемых модулей в год — 11000 шт., стоимость отбраковочных испытаний за один год составит

$$\begin{aligned} C_{\text{ои}} &= \frac{58 \text{ руб.}}{1 \text{ ч}} \cdot 72 \text{ ч} \cdot \frac{11000 \text{ шт.}}{4} = \\ &= 11484000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

В результате отбраковочных испытаний выявляется до 22 % потенциально ненадежных модулей от общего количества испытываемых модулей. В среднем на один отказавший модуль приходится один дефект, выявленный при испытаниях. Для расчета воспользуемся приведенными данными и определим количество потенциально ненадежных модулей, которое в данном случае составит 2420 шт.

Подсчитаем стоимость устранения дефектов в заводских условиях:

$$\begin{aligned} C_{\text{зав}} &= 500 \text{ руб./дефект} \cdot 1 \cdot 2420 \text{ шт.} = \\ &= 1210000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

За каждый отказ аппаратуры в период ее гарантийного обслуживания в соответствии с действующим законодательством взимается штраф $C_{\text{гар}}$. Штраф за некачественную продукцию предусмотрен в договоре на поставку продукции и составляет, как правило, от 1 до 25 % от стоимости изделия. Размер штрафа примем равным минимальному значению — 1 % от стоимости изделия, что составит 5700 руб. за одно изделие. По имеющимся данным, за год в условиях эксплуатации отказало 304 модуля, что составляет 2,76 % от общего числа поставленных заказчику модулей.

Рассчитаем годовые затраты на ремонт аппаратуры в условиях эксплуатации:

$$\begin{aligned} C_{\text{эк}} &= (5700 \text{ руб.} + 3000 \text{ руб.}) \cdot (2 - 1) \cdot 304 \text{ шт.} = \\ &= 2644800 \text{ руб.} \end{aligned}$$

При необходимости могут быть учтены дополнительные затраты $C_{\text{доп}}$, равные сумме затрат, связанных с организационно-подготовительными работами. В данном примере затраты, связанные с организационно-подготовительными работами, не учитываем, т. к. оборудование для испытаний проектировалось одновременно с разрабатываемыми модулями.

Рассчитаем общие затраты $C_{\text{об}}$ на внедрение и проведение отбраковочных испытаний, а также на устранение в эксплуатации не выявленных при проведении отбраковочных испытаний дефектов:

$$\begin{aligned} C_{\text{об}} &= 11484000 + 1210000 + 2644800 = \\ &= 15338800 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рассчитаем сокращения выплат штрафов за отказы аппаратуры в период гарантийного обслуживания, которые пропорциональны числу выявленных дефектов при отбраковочных испытаниях:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E}_{\text{ш}} &= 5700 \text{ руб.} \cdot 1 \cdot 2420 \text{ шт.} = \\ &= 13794000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Сокращение стоимости ремонта пропорционально числу выявленных дефектов при отбраковочных испытаниях:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{рем}} = (3000 - 500) \cdot 1 \cdot 2420 = 6050000 \text{ руб.}$$

Общая экономия $\Delta_{\text{ои}}$ от внедрения отбраковочных испытаний

$$\Delta_{\text{ои}} = \Delta\Delta_{\text{ис}} + \Delta\Delta_{\text{зип}} + \Delta\Delta_{\text{вход}} + 13\,794\,000 \text{ руб.} + 6\,050\,000 \text{ руб.};$$

$$\Delta_{\text{ои}} = \Delta\Delta_{\text{ис}} + \Delta\Delta_{\text{зип}} + \Delta\Delta_{\text{вход}} + 19\,844\,000 \text{ руб.}$$

На данном этапе расчета уже очевидно, что экономия от внедрения отбраковочных испытаний выше, чем затраты на организацию и проведение отбраковочных испытаний, т. е.

$$\Delta_{\text{ои}} - C_{\text{об}} > 0.$$

Заключение

С учетом имеющихся технико-экономических показателей внедрение испытательных стендов целесообразно проводить при наличии нескольких условий: штрафа за поставку некачественной продукции и повышенной стоимости ремонта аппаратуры в условиях эксплуатации. В рассмотренном случае при затратах в 15,3 млн руб. экономия от внедрения испытательных стендов в производство СВЧ-модулей составила 19,8 млн руб., т. е. проводимое мероприятие обеспечило положительный экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аристов О. В. Управление качеством: учеб. пособие для вузов. — М.: ИНФРА-М, Высшее образование, 2006. — 240 с.
2. РД В 319.02.24-99 Методы проведения отбраковочных испытаний. — Мытищи, 2002. — 26 с.
3. ГОСТ РВ 15.307 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Испытания и приемка серийных изделий. — М., 2002. — 32 с.
4. Телец А. В., Фурсов С. А. Метод и стенды для электротермотренировки твердотельных СВЧ-модулей // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2015. Вып. 4 (238). С. 62—65.

THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFECT OF INTRODUCING INTO THE PRODUCTION OF TEST FACILITIES FOR SCREENING TESTS OF SOLID-STATE MICROWAVE MODULES

A. Yu. Kiryanov

JSC "S&PE "Pulsar", Moscow, Russia

A cost-effective measure to improve product quality is the introduction of test facilities for the screening tests of solid-state microwave modules.

Keywords: testing, test facility, solid-state microwave modules, quality, economic effect.

Bibliography — 4 references.

Received December 25, 2019

УДК 356.359

ЭВОЛЮЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. П. Ларченков, канд. воен. наук

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

Рассмотрена, проанализирована и обобщена эволюция конструктивного и технологического совершенствования беспилотных летательных аппаратов как фактор, влияющий на подготовку и ведение противовоздушной обороны общевойсковых формирований с учетом массированного применения беспилотных летательных аппаратов в условиях ведения боевых действий в вооруженных конфликтах и общевойскового боя. На основании исследования основных летно-технических характеристик определены возможные разноплановые, разведывательные, боевые и специальные задачи, которые наиболее эффективно способны решать беспилотные летательные аппараты с учетом возможных форм и способов их применения и управления ими.

Ключевые слова: противовоздушная оборона (ПВО), беспилотный летательный аппарат (БЛА), беспилотник, дрон, дистанционно пилотируемый аппарат (ДПЛА).

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА, или БЛА; в разговорной речи также "беспилотник" или "дрон", от англ. drone — трутень) — летательный аппарат без экипажа на борту. Дистанционно пилотируемые летательные аппараты — это боевые беспилотные самолеты (ББС), боевые самолеты-снаряды (БСС), боевые разведывательные самолеты (БРС), беспилотные разведывательные и ударные вертолеты (БРВ и УБВ), беспилотные аэростаты (БА), беспилотные управляемые бомбы (БУБ), которые пилотируются дистанционно оператором. БПЛА, предназначенные для выполнения военных задач, принято называть дронами [1].

Первое официальное задокументированное использование БПЛА относится к XIX в.: 22 августа 1849 г. австрийские войска провели воздушную бомбардировку Венеции с помощью беспилотных аэростатов, которые запускали по ветру; в определенное время они сбрасывали шрапнельные заряды (рис. 1, 2).

Эффективность бомбардировки была незначительной, поэтому первый опыт остался почти не замеченным. В результате чрезвычайно мало известно о подробностях атаки. К примеру, данные о времени проведения атаки, количестве аэростатов и эффекте сильно различаются [2].

Ларченков Владимир Петрович, доцент.
E-mail: aet@mai.ru

Статья поступила в редакцию 18 декабря 2019 г.

© Ларченков В. П., 2020

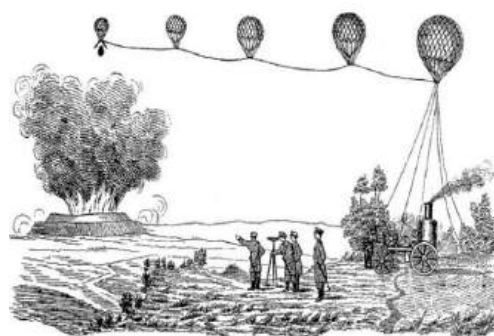


Рис. 1. Первая в истории бомбардировка зажигательными снарядами с аэростатов



Рис. 2. Воздушная бомбардировка Венеции

Бурное развитие в ведущих экономических странах информационных технологий неизбежно привело к переосмыслению концепций применения БПЛА, путей их дальнейшего развития, совершенствованию полезной нагрузки и приданию им многоцелевого характера [3].

БПЛА занимают достойное место в производственных программах ведущих авиастроителей мира.

Эффективность способов ведения боевых действий определяется показателями качества средств поражения, разведки, связи и автоматизированных систем управления (АСУ).

Дефицит перспективных адекватных автоматизированных комплексов разведки, управления и связи (АКРУС), отвечающих необходимым конструктивно-техническим требованиям, предъявляемым к ним, снижает потенциальные возможности активно развивающихся средств воздушного нападения.

Возможности существующих наземных средств радиолокационной и оптико-электронной разведки ограничены дальностью прямой видимости и не обеспечивают обнаружения целей и объектов противника, находящихся за естественными и искусственными укрытиями.

Поэтому использование БПЛА в военных целях стало одним из важных направлений развития авиации. Оно позволяет автоматизировать управление войсками, сократить потерю личного состава в бою за счет оперативной разведывательной информации о текущей обстановке в режиме он лайн.

В связи с этим актуальна задача создания высокоомобильных, простых в эксплуатации и относительно дешевых средств ведения воздушной разведки.

Техническое содержание и обслуживание БПЛА обходится в десятки раз дешевле, чем содержание военных боевых самолетов и вертолетов, а опасность для жизни военных пилотов и военных операторов БПЛА не сопоставима. Поэтому экономически развитые государства имеют на службе в своих ВВС БПЛА и ДПЛА и другие беспилотные авиационные системы [3].

История и предпосылки создания БПЛА

Исследования результатов боевого применения дронов в локальных войнах и вооруженных конфликтах позволяют сделать вывод о том, что при ведении боевых действий на любом театре военных действий (ТВД) БЛА будут играть важную роль и смогут заменить пилотируемую авиацию при выполнении задач в условиях сильной противовоздушной обороны.

Бурное развитие в ведущих странах мира информационных технологий неизбежно привело к переосмыслению концепций применения БЛА (дронов), путей дальнейшего их развития, совершенствованию полезной нагрузки и приданию им многоцелевого характера.

БЛА занимают достойное место в производственных программах ведущих авиастроителей.

Эффективность способов ведения боевых действий определяется показателями качества средств поражения, разведки, связи и автоматизированных систем управления (АСУ). Однако отставание в создании перспективных комплексов ведения разведки и управления не способствует реализации в полном объеме потенциальных возможностей ударных средств поражения.

Возможности существующих наземных средств радиолокационной и оптико-электронной разведки ограничены дальностью прямой видимости и не обеспечивают обнаружения целей и объектов противника, находящихся за естественными укрытиями.

Использование БЛА в военных целях стало одним из важнейших направлений развития авиации. Оно обуславливает необходимость разработки и создания комплексных автоматизированных средств разведки, управления и связи (КАСРУС).

КАСРУС на воздушных платформах позволяют максимально использовать потенциальные возможности дронов, что позволит защитить и сократить потерю личного состава в бою за счет оперативной и достоверной разведывательной информации о текущей обстановке.

В связи с этим актуальна задача создания и принятия на вооружение мобильных, простых в эксплуатации и относительно дешевых средств ведения воздушной разведки, управления и нанесения эффективных воздушных ударов как одиночными дронами, так и беспилотниками, действующими в составе комплексных тактических воздушных групп или подразделений [4].

В 1933 г. в Великобритании на основе биплана Fairy Queen был создан первый дистанционно управляемый по радио БПЛА многократного действия, получивший название H.82B Queen Bee (рис. 3).



Рис. 3. Fairy Queen (Королева Фей)

Именно тогда началась эра беспилотников. В последствии всего было изготовлено 405 единиц самолетов-мишеней.

Этот аппарат использовали в качестве воздушной мишени в Королевском военно-морском флоте Великобритании с 1934 по 1943 гг. Всего было изготовлено более 400 единиц самолетов-мишеней.

Однако первым боевым БПЛА был признан самолет-снаряд германского производства (крылатая ракета Фау-1 (Физелер-103)) с реактивным пульсирующим двигателем, который мог запускаться как с земли, так и с воздуха (рис. 4).



Рис. 4. Самолет-снаряд Фау-1

Оружием возмездия пропаганда гитлеровской Германии называла амбициозные авиационные и ракетно-артиллерийские проекты по созданию оружия для бомбардировок английских городов и атак на США в ответ за налеты на Германию авиации союзников.

Идею такого оружия — "летающей бомбы" — предложил инженер Фриц Госслау из авиационной фирмы "Аргус".

Конструкторам удалось создать легкий, простой, но достаточно мощный пульсирующий реактивный двигатель, который мог быть использован для "летающей бомбы" — крылатой ракеты.

Двигатель представлял собой трубу переменного сечения общей длиной 3,44 м, включающую диффузор, камеру сгорания и сопло. В камеру сгорания подавалась топливная смесь, которая смешивалась с воздухом и воспламенялась в камере сгорания. Происходил взрыв. Продукты горения выбрасывались через сопло назад. При этом создавалась реактивная тяга.

Воздух отбирался из набегающего потока во время полета. Топливный насос представлял собой емкость со сжатым воздухом, который закачивался перед стартом, затем подавался в топливный бак и вытеснял из него топливо.

Затем цикл повторялся, и двигатель как бы пульсировал с большой частотой.

Такой процесс невозможно было остановить после его начала, но в этом и не было необходимости.

Свеча давала искру, смесь вспыхивала. Частота процесса составляла около 45 вспышек топлива в секунду.

Общая конструкция двигателя получилась простой и технологичной, что позволило использовать в производстве низкоквалифицированный персонал. Система зажигания по сложности немного превосходила автомобильную.

Система управления снарядом представляла собой автопилот, удерживающий снаряд на заданных при старте курсе и высоте в течение всего полета.

Управление дальностью полета осуществлялось с помощью механического счетчика, на котором перед стартом устанавливали величину, соответствующую требуемой дальности, а лопастной анемометр (прибор для измерения скорости ветра), размещенный на носу снаряда и вращаемый набегающим потоком воздуха, скручивал счетчик до нуля по достижении требуемой дальности с точностью ± 6 км. При этом взводились взрыватели боевой части и выдавалась команда на пикирование.

Всего было произведено около 25000 единиц этого оружия. Из них около 10000 было запущено по Англии, 3200 упали на ее территории, из них 2419 достигли Лондона, вызвав потери в 6184 человек убитыми и 17 981 ранеными [5].

Конструктивно-техническое развитие и совершенствование БПЛА

Удары Фау-1 не могли повлиять на ход войны, однако имели немалый моральный эффект и требовали больших усилий и материальных затрат для противодействия им. В США запустили в производство БПЛА-мишень Radioplane OQ-2 для тренировки летчиков и зенитчиков, в 1944 г. он был применен впервые в мире. Проект радиоуправляемого боевого самолета был предложен в августе 1936 г. лейтенантом американского флота Д. С. Фарни. Идея хотя и получила одобрение, большой поддержки не нашла. В те годы просто не существовало технологий, необходимых для реализации этого замысла. Только в 1940 г. были получены два основных компонента: радарный высотомер и телевизионная система управления. Первые опыты, проведенные в 1941 г., оказались успешными, и в начале 1942 г. флот США заказал фирме Interstate по-

стройку двух прототипов под обозначением XTDR-1 и серии из 100 самолетов TDR-1 (рис. 5).



Рис. 5. Ударный БПЛА многократного использования TDR-1 идет на цель

Дешевизна предопределила невысокие летные характеристики: скорость машины на испытаниях не превысила 225 км/ч, а дальность — 685 км.

Машина взлетала с обычного аэродрома или с авианосца при помощи колесного сбрасываемого шасси. В носовой части располагался прозрачный обтекатель, прикрывающий телекамеру управления. Расположенная в носовой части телекамера Block-I имела угол обзора в 35°. Управление самолетом осуществляли по радио с борта следующего за дронами самолета управления.

Оператор с помощью дисковидного экрана видел изображение, передаваемое телекамерой машины. Для контроля направления и угла использовался стандартный джойстик.

Высоту полета задавали дистанционно с помощью наборного диска, как и сброс шасси, и отстрел торпеды или бомбы.

Практика показала невозможность предполагавшегося прицельного сброса бомб с самолета. Было решено, что для упрощения и без того затянувшейся программы разработки и обучения летчики будут атаковать цели только сбросом торпед либо таранным ударом самолета в пикировании.

Ряд проблем с аппаратурой и с освоением новой техники привел к тому, что интерес к беспилотным самолетам начал падать.

Всего было произведено более 100 БПЛА этого типа. Часть из них приняла участие в боевых действиях на Тихом океане.

При этом имелись определенные успехи. Были осуществлены атаки наземных зенитных батарей на Бугенвилле, в Рабауле и на о. Новая

Ирландия. Наиболее успешными были две последние атаки на Новую Ирландию, полностью уничтожившие стратегический маяк на мысе Св. Георгия. Всего в этих атаках было израсходовано 26 дронов из 47 имеющихся. Еще 3 разбились по техническим причинам.

После окончания войны основные усилия разработчиков были сосредоточены на создании управляемых ракет и бомб. БПЛА рассматривали только в качестве тренировочных радиоуправляемых мишеней для средств ПВО и истребителей.

Интерес к БПЛА стал возрождаться по мере насыщения войск зенитными ракетными комплексами (ЗРК) и совершенствования средств разведки и обнаружения СВН, а также разработки современных перспективных автоматизированных средств управления зенитными комплексами.

Применение беспилотников позволило сократить потери пилотируемых разведывательных самолетов при ведении воздушной разведки и использовать их в качестве ложных целей. В СССР в 60—70-е гг. были созданы беспилотные реактивные разведчики Ту-123 "Ястреб", Ту-141 "Стриж", Ту-143 "Рейс".

После серьезных потерь авиации во Вьетнаме США возобновили интерес к беспилотникам.

В основном беспилотники использовали для ведения фоторазведки, иногда в интересах РЭБ. В частности, для ведения радиотехнической разведки применяли БПЛА 147Е.

Несмотря на то что в конечном счете беспилотник был сбит, он передавал информацию на наземный комплекс [4, 5].

Все это были достаточно крупные и тяжелые аппараты. Ту-143 был выпущен в количестве около 950 штук. Он поставлялся в ближневосточные страны, в том числе в Ирак и Сирию, где активно использовался в боевых действиях.

Хотя беспилотник и был сбит, он до последнего момента передавал на наземный пункт характеристики советского ЗРК С-75. Ценность этой информации была соизмерима с полной стоимостью программы разработки БЛА.

БПЛА позволили сохранить жизнь многим американским летчикам, а также оберегать самолеты в течение последующих 15 лет, вплоть до 1973 г. В ходе войны американские БПЛА совершили почти 3500 полетов, причем потери составили не более четырех процентов.

Ту-143 — реактивный беспилотный самолет, входящий в состав комплекса тактической разведки ВР-3 "Рейс".

Комплекс предназначен для визуальной разведки ближней прифронтовой полосы, сбора

информации о радиационной обстановке. Комплекс ВР-3 начали создавать в конце 60-х гг. Задание было поручено ОКБ Туполева (рис. 6).



Рис. 6. ВР-3 "Рейс". Беспилотный авиационный комплекс с БЛА Ту-143

Первый полет БПЛА Ту-143 совершил в декабре 1970 г., испытания заняли несколько лет, принят на вооружение в 1976 г. Производство велось вплоть до 1989 г. Всего было выпущено около 950 БПЛА. Ту-143 — реактивный беспилотный самолет, входящий в состав комплекса тактической разведки ВР-3 "Рейс". Комплекс предназначен для визуальной разведки ближней прифронтовой полосы, сбора информации о радиационной обстановке. [6].

Современные и перспективные БПЛА

Наиболее востребованным БПЛА является созданный ведущей российской компанией в сфере БПЛА ZALA AERO. Это управляемый компьютером и системами GPS шестикоптер (6-винтовой вертолет (рис. 7)). Он широко используется для разведки местности, поиска боевой техники противника.



Рис. 7. Радиоуправляемый шестикоптер "Серафим"

Шестикоптер весит всего 1,2 кг и легко запускается с руки. Электрзаряда хватает на полчасовой полет, но этого вполне достаточно, чтобы на расстоянии до 5 км и с высоты до 500 м мощнейшая оптика аппарата легко распознала нужный объект.

Помимо мобильных вертолетного и самолетного аппаратов компания AERO GROUP занимается выпуском лучших в России беспилотных аэростатов. Например, ZART 180 — многофункциональный простой в управлении аппарат (рис. 8).



Рис. 8. Беспилотный аэростат многофункциональный ZART 180

Данный аппарат предназначен для выполнения широкого спектра задач: мониторинг мест скопления людей, радиационная, химическая, бактериологическая разведка, экологические измерения, управление при ЧС и ведении локальных боевых действий. Аппарат автономно работает до 72 ч. при скорости ветра до 15 м/с. Охват зоны наблюдения 360°. Максимальная высота развертывания 300 м.

Придя на замену знаменитому MQ-1 Predator ("Хищник"), MQ-9 Reaper стал основным БПЛА ВВС США, используемым как в разведывательных целях, так и для нанесения высокоточных ударов по противнику. К уже существующему арсеналу Grim Reaper ("Мрачный жнец") с управляемыми ракетами AGM-114 Hellfire, 500-фунтовыми бомбами с лазерным наведением GBU-12 Paveway II добавилась более дешевая, но достаточно точная бомба свободного падения GBU-38 (рис. 9).



Рис. 9. Беспилотный летательный аппарат ВВС США MQ-9 Reaper

Указанный аппарат создан на основе MQ-1 Predator, поэтому его иногда называют

Predator B. Он оснащен турбовинтовым двигателем, позволяющим развивать скорость более 400 км/ч. Практический потолок составляет 13 000 м. Максимальная продолжительность полета БПЛА MQ-9 Reaper равна 24 ч.

MQ-9 "Reaper" ("Жнец") (первоначальное название "Predator B") представляет собой беспилотный летательный аппарат, разработанный компанией General Atomics Aeronautical Systems (GA-ASI) для использования ВВС и ВМФ США, ВВС Великобритании и Италии. MQ-9 и другие БПЛА относятся к дистанционно пилотируемым системам, управляемым операторами с земли. БЛА "Reaper" является первым ударным аппаратом, созданным для проведения высотных продолжительных операций.

Модификация Block-1 в 2012 г. была представлена как модификация MQ-9 с увеличенной продолжительностью полета. Модернизированный БПЛА может находиться в воздухе на 10—15 ч. дольше по сравнению с предыдущей версией. Этот результат достигнут за счет дополнительных топливных баков и обновленных шасси, благодаря чему продолжительность полета увеличилась до 37 ч. без дозаправки.

По информированию компании-производителя, если на MQ-9 установить более длинные крылья (26,8 м вместо штатных размахом 20,0 м), то БПЛА сможет находиться в воздухе до 42 ч.

Беспилотная авиация Израиля (в т. ч. перспективные разработки) включает длинный список летательных аппаратов различного назначения, от крошечных, весом в 300 г дронов Ghost, способных запускаться с руки и стоящих на вооружении разведки и пехотных рот (последние разработки уже превзошли эти параметры), до крупнейшего в мире беспилотника "Эйтан", чей размах крыльев достигает 35 м, а вес — 4 т.

Главным предназначением БПЛА "Эйтан" является дальняя разведка, поиск и уничтожение установок баллистических ракет. Аппарат способен около 50 ч. "висеть" на высоте до 10 км над контролируемыми районами. Предусмотрено оснащение его системой дозаправки в воздухе. "Эйтан" оборудован системами спутниковой навигации, аппаратурой слежения и обнаружения целей в оптическом, инфракрасном и радиодиапазоне, средствами управления огнем и ударными комплексами. При крейсерской скорости 296 км/ч (максимальная 460 км/ч) он может теоретически пролететь 14,8 тыс. км. Масса полезной нагрузки "Эйтана" в зависимости от дальности полета может достигать 1,8 т (рис. 10).



Рис. 10. Беспилотник "Эйтан"

Несмотря на расширяющийся выпуск многофункциональных БПЛА, израильские конструкторы не оставляют без внимания и небольшие дроны тактического назначения, так называемые ближние разведчики. Израильской армией приняты на вооружение малые дроны "Skylark" и "Seagull".

Предназначенные для выполнения задач на уровне взвода — роты оба дрона имеют радиус действия 5—10 км, и их можно запускать с руки. На них могут быть установлены видеокамера и инфракрасные датчики обзора. "Skylark" может находиться в воздухе более двух часов, "Seagull" — более шести часов.

В ходе операции в Газе ближние разведчики впервые в мире решали боевые задачи наравне с танками и пехотой.

Израиль стал первой страной в мире, которая использует дроны для спасения человеческих жизней. Здесь создан вертолет с длиной корпуса 8 м, шириной 3 м, высотой 1,5 м. Машина может набирать скорость до 150 км/ч и парить на высоте до 3 км [7].

Заключение

Одним из активно прогрессирующих перспективных направлений развития техники является проектирование и производство БПЛА.

Это обусловлено тем, что применение БПЛА в военной области и в других сферах эффективно экономически и часто позволяет выполнить задачу лучше и быстрее, чем это делается с применением традиционной авиации или других традиционных способов.

Например, перед учебными полетами в гражданской и военной авиации обязательно производят разведку погоды, причем задействуют именно тот тип самолета, на котором будут производиться полеты, а в военной авиации — еще и учебно-боевой (спарка) самолет этого типа.

При этом сгорает огромное количество остродефицитного авиационного керосина, изнашивается дорогостоящая авиационная техника, задействован целый комплекс обслуживания самолета.

Если это будет делать БПЛА, оборудованный видеокамерой, передающей картинку оператору, стоимость эксплуатации которого в разы меньше, то процесс окажется безопаснее, надежнее и на порядок дешевле.

При этом БПЛА можно держать в зоне полетов в другом эшелоне весь полетный день и получать всю информацию о погоде в режиме онлайн. В мире нет области, где нельзя было бы эффективно применить беспилотники. Это традиционные аэрофотосъемка, военная разведка, корректировка огня артиллерии и ракет, наведение на цель бомбардировщиков, обнаружение терпящих бедствие судов, обнаружение на начальной стадии лесных пожаров. БПЛА бесценны при поимке преступников и террористов.

Кроме того, это нетрадиционное выведение на орбиту спутников (пока небольшого веса), применение БПЛА для уничтожения небольших бандформирований (ИГИЛ) и даже отдельных бандитов, для доставки срочных военных грузов или боевых документов, военно-промышленный шпионаж (беспилотники и дроны все более миниатюризируются, уже сейчас можно замаскировать БПЛА под бабочку, муху или жука).

БПЛА выгодно отличаются от спутников (как правило, они в сотни и тысячи раз дешевле), а задачу наблюдения могут выполнить даже качественнее (в случае попадания в облачность они имеют возможность оперативно снизиться по команде оператора и вести наблюдение с более целесообразного расстояния).

Также беспилотники выгодно отличаются от самолетов и вертолетов тем, что их нет необходимости снабжать дополнительными системами навигации, бортового электроснабжения, жизнеобеспечения, аварийного спасения и т. д. [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларченков В. П. Конструктивно-технические аспекты беспилотных летательных аппаратов, влияющие на подготовку и ведение противовоздушной обороны в условиях современного общевойскового боя // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2017. № 4. С. 20—25.
2. Ларченков В. П. Противовоздушная оборона мотострелковой бригады в обороне: дисс. канд. воен. наук. — М.: ВАФ, 1996. — 210 с.
3. Иванов С. В. Противовоздушная оборона армии в условиях применения противником современных средств воздушного нападения: дисс. канд. воен. наук. — М.: ОА ВС РФ, 2002. — 190 с.
4. Ларченков В. П. Средства воздушного нападения главных зарубежных стран и основы их боевого применения: учеб. пособие. — М.: ОА ВС РФ, 2002. — 75 с.
5. Ларченков В. П. Основы оперативного и боевого применения средств воздушного нападения противника при нанесении ударов по войскам и объектам: учеб. пособие. — М.: ОА ВС РФ, 2008. — 120 с.
6. Шавелкин А. М., Ларченков В. П. Противовоздушная оборона войск: учебник. — М.: ОА ВС РФ, 2008. — 362 с.
7. Василин Н. Я. Беспилотные летательные аппараты. — М.: Попурри, 2012. — 272 с.
8. Матвеев А. М. 101 выдающийся летательный аппарат мира. — М.: МАИ, 2016. — 993 с.

EVOLUTION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PERFECTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

V. P. Larchenkov

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

The article considers, analyzes and summarizes the evolution of the design and technological improvement of unmanned aerial vehicles as a factor affecting the preparation and conduct of air defense of combined arms formations, taking into account the massive use of unmanned aerial vehicles in combat in armed conflicts and modern combined arms combat. On the basis of the study, the main flight characteristics are determined by the possible diverse, reconnaissance, combat and special tasks that will be most effectively able to re-shat unmanned aerial vehicles in modern war, taking into account the possible forms and methods of their application control.

Keywords: air defense (air defense), unmanned aerial vehicle (UAV), drone, unmanned combat aircraft (UAVs), remotely piloted vehicle (UAV).

Bibliography — 8 references.

Received December 18, 2019

УДК 338.5

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НИОКР ПО ПЕРСПЕКТИВНЫМ БПЛА

И. В. Артеменко, канд. эконом. наук; В. С. Олешко, канд. техн. наук
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Рассмотрены вопросы использования комплексного показателя экономической эффективности стадий жизненного цикла беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Этот комплексный показатель отражает результаты применения по назначению БПЛА. Он имеет денежное выражение через показатель верхних лимитных цен.

Ключевые слова: экономика, военно-промышленный комплекс, авиация, авиационная техника, беспилотный летательный аппарат.

Авиационная промышленность гражданского и военного назначения РФ динамично развивается. Наиболее перспективной авиационной техникой являются БПЛА.

В России разрабатывают, испытывают, производят и эксплуатируют новые БПЛА, такие, как "Альтиус-У", "Орион", С-70 "Охотник" и многие другие. Повышение уровня развития научно-производственного комплекса по разработке и производству БПЛА оборонного назначения является важным направлением государственной политики.

Оценка экономической эффективности стадий жизненного цикла БПЛА направлена на определение показателя экономической эффективности расчетов на основе планирования: разработки, производства, эксплуатации и восстановления (ремонта).

При определении экономической эффективности разработки перспективных образцов БПЛА рассматривают только научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), которые успешно завершены (планируются к завершению) в рассматриваемом временном интервале. Для выполнения этого условия проверяется истинность следующего выражения:

$$T_0 \leq T_i \leq T, \quad (1)$$

где T_0 — временной показатель начала выполнения НИОКР по созданию перспективных образцов БПЛА, мес.;

T_i — временной показатель завершения разработки i -го перспективного образца БПЛА, мес.;

T — временной показатель окончания выполнения НИОКР, мес.

Дальнейшие расчеты осуществляют для НИОКР, удовлетворяющих этому условию. Данный подход обусловлен тем, что эффективными могут считаться мероприятия по разработке образцов БПЛА, результаты которых будут реализованы в дальнейшем для достижения военного и экономического эффекта развития группировки БПЛА. В противном случае экономический эффект и верхняя лимитная цена для данного образца БПЛА будут равны нулю, что приведет к получению отрицательного экономического эффекта выполнения мероприятия. Указанный факт необходимо учитывать.

Оценка экономической эффективности разработки БПЛА

Экономическую эффективность исследования и обоснования разработки БПЛА как стадии его жизненного цикла целесообразно оценивать по следующей методике. Успешно завершенные НИОКР оценивают показателем экономической эффективности с учетом стоимости их выполнения на всех стадиях жизненного цикла БПЛА, который для этапа разработки вычисляется по формуле:

$$I_p = \frac{C_{pz}^{lim} - C_p}{C_{pt}^{lim}}, \quad (2)$$

где I_p — показатель эффективности выполнения мероприятий по разработке перспективных образцов БПЛА;

Артеменко Игорь Вадимович, профессор, доцент.

E-mail: aiv87@bk.ru

Олешко Владимир Станиславович, профессор, доцент.

E-mail: ovs_mai@mail.ru

Статья поступила в редакцию 5 декабря 2019 г.

© Артеменко И. В., Олешко В. С., 2020

C_{pz}^{lim} — суммарное значение верхних лимитных цен разработки перспективных образцов БПЛА, разработка которых успешно завершена, руб.;

C_p — суммарные затраты на разработку перспективных образцов БПЛА, руб.;

C_{pt}^{lim} — суммарное значение верхних лимитных цен разработки, определяемое для всех перспективных образцов БПЛА, руб.

Значения C_{pz}^{lim} и C_{pt}^{lim} находят по следующим формулам:

$$C_{pz}^{lim} = \sum_{i=1}^m C_{pi}^{lim}, \quad (3)$$

$$C_{pt}^{lim} = \sum_{i=1}^n C_{pi}^{lim}, \quad (4)$$

где C_{pi}^{lim} — верхняя лимитная цена разработки i -го перспективного образца БПЛА, руб.;

m — количество наименований разрабатываемых перспективных образцов БПЛА, успешно завершённых;

n — количество наименований разрабатываемых перспективных образцов БПЛА.

Оценка экономической эффективности производства БПЛА

Для определения показателя экономической эффективности мероприятий по производству образцов БПЛА необходимо рассматривать только те образцы, которые идут на замену устаревшим аналогам. Это связано с тем, что закупка образцов в целях восполнения их требуемого количества не обеспечивает развитие группировки БПЛА для получения военного эффекта. Кроме того, объёмы закупок перспективных образцов БПЛА непосредственно оказывают влияние на показатель эффективности этого мероприятия в перспективе, что отражено в следующей формуле:

$$I_{\pi} = \frac{C_{\pi}^{lim} - C_{\pi}}{C_{\pi}^{lim}}, \quad (5)$$

где I_{π} — показатель эффективности выполнения мероприятий по закупке перспективных образцов БПЛА;

C_{π}^{lim} — суммарное значение верхних лимитных цен серийного производства, рассчитанное для количества закупаемых образцов БПЛА, руб.;

C_{π} — суммарные затраты на серийное производство перспективных образцов БПЛА, руб.;

$C_{\pi t}^{lim}$ — суммарное значение верхних лимитных цен серийного производства, рассчитанное для требуемого количества перспективных образцов БПЛА, руб.

При этом C_{π}^{lim} и $C_{\pi t}^{lim}$ находят по следующим формулам:

$$C_{\pi}^{lim} = \sum_{i=1}^p C_{\pi i}^{lim} n_{\pi i}; \quad (6)$$

$$C_{\pi t}^{lim} = \sum_{i=1}^p C_{\pi i}^{lim} n_{\pi t}, \quad (7)$$

где $C_{\pi i}^{lim}$

— верхняя лимитная цена закупки одного i -го образца БПЛА, идущего на замену устаревшему аналогу, руб.;

$n_{\pi i}$ — количество закупаемого i -го образца БПЛА, идущего на замену устаревшему аналогу;

$n_{\pi t}$ — требуемое количество i -го образца БПЛА для обеспечения потребностей государственного заказчика;

p — количество наименований закупаемых перспективных образцов БПЛА.

Государственный заказчик — это государственный орган, орган управления государственным внебюджетным фондом либо государственное казенное учреждение, действующие от имени Российской Федерации или ее субъекта, уполномоченные принимать бюджетные обязательства в соответствии с бюджетным законодательством и осуществляющие закупки. Государственным заказчиком в Российской Федерации могут быть Минобороны, МВД, МЧС и т. д.

Анализ формул (5)–(7) показывает, что одним из путей повышения показателя экономической эффективности является унификация БПЛА, которая приведет к уменьшению переменной p в формуле (7).

Оценка экономической эффективности эксплуатации БПЛА

Оценку экономической эффективности эксплуатации БПЛА как основной стадии его жизненного цикла целесообразно проводить следующим образом. Экономическая эффективность эксплуатируемых БПЛА оценивается показателем экономической эффективности эксплуата-

ции, который для данного этапа вычисляется по формуле

$$I_3 = \frac{C_3^{\text{lim}} - C_3}{C_{3\text{т}}^{\text{lim}}}, \quad (8)$$

где I_3 — показатель эффективности эксплуатации БПЛА;

C_3^{lim} — суммарное значение верхних лимитных цен на эксплуатацию БПЛА, руб.;

C_3 — суммарные затраты на эксплуатацию БПЛА, руб.;

$C_{3\text{т}}^{\text{lim}}$ — суммарное значение верхних лимитных цен на эксплуатацию, определяемое для всех перспективных образцов БПЛА, руб.

Значения C_3^{lim} и $C_{3\text{т}}^{\text{lim}}$ находятся по формулам

$$C_3^{\text{lim}} = \sum_{i=1}^p C_{3i}^{\text{lim}} n_{3y}; \quad (9)$$

$$C_{3\text{т}}^{\text{lim}} = \sum_{i=1}^p C_{3i}^{\text{lim}} n_{3\text{т}}, \quad (10)$$

где C_{3i}^{lim} — верхняя лимитная цена эксплуатации одного i -го образца БПЛА, пришедшего в эксплуатирующую организацию на замену устаревшему аналогу, руб.;

n_{3y} — количество эксплуатируемых образцов БПЛА, пришедших в эксплуатирующие организации на замену устаревшим аналогам;

$n_{3\text{т}}$ — требуемое количество образцов БПЛА для обеспечения потребностей государственного заказчика.

Оценка экономической эффективности восстановления БПЛА

Аналогичный подход применен для оценки экономической эффективности мероприятий по восстановлению образцов БПЛА, бывших в эксплуатации. При этом рассматривается эффективность восстановления только для образцов БПЛА, принадлежащих последнему поколению, при условии наличия на снабжении устаревших аналогов. Порядок расчета показателя экономической эффективности программных мероприятий по восстановлению образцов БПЛА представлен следующим математическим выражением:

$$I_B = \frac{C_B^{\text{lim}} - C_B}{C_{B\text{т}}^{\text{lim}}}, \quad (11)$$

где I_B — показатель эффективности выполнения мероприятий по восстановлению БПЛА;

C_B^{lim} — суммарное значение верхних лимитных цен восстановления БПЛА, руб.;

C_B — суммарные затраты на восстановление перспективных образцов БПЛА, руб.;

$C_{B\text{т}}^{\text{lim}}$ — суммарное значение верхних лимитных цен восстановления БПЛА, рассчитанное для потребностей государственного заказчика, руб.

При этом

$$C_B^{\text{lim}} = \sum_{i=1}^r C_{Bi}^{\text{lim}} n_{By}; \quad (12)$$

$$C_{B\text{т}}^{\text{lim}} = \sum_{i=1}^r C_{Bi}^{\text{lim}} n_{B\text{т}}, \quad (13)$$

где C_{Bi}^{lim} — верхняя лимитная цена восстановления одного i -го образца БПЛА, идущего на замену устаревшему аналогу, руб.;

n_{By} — количество восстанавливаемого i -го образца БПЛА, идущего на замену устаревшему аналогу;

$n_{B\text{т}}$ — требуемое количество i -го образца БПЛА для обеспечения потребностей государственного заказчика;

r — количество наименований восстанавливаемых перспективных образцов БПЛА.

Комплексная оценка экономической эффективности НИОКР по БПЛА

С использованием результатов расчетов верхних лимитных цен по отдельным программным мероприятиям определяют значение экономической эффективности НИОКР по разработке перспективных образцов БПЛА:

$$I = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s I_i, \quad (14)$$

где I — комплексный показатель экономической эффективности НИОКР по перспективным БПЛА;

s — количество показателей экономической эффективности по стадиям жизненного цикла;

I_i — i -й показатель экономической эффективности по стадиям жизненного цикла.

Продemonстрируем применение изложенной методики проведения комплексной оценки экономической эффективности НИОКР по перспективным образцам БПЛА на примере. В табл. 1 представлены исходные данные для проведения расчетов.

Таблица 1

Исходные данные для проведения комплексной оценки

Параметр		Значение параметра
Суммарные затраты на стадиях жизненного цикла БПЛА, млн руб.	C_p	180
	$C_{п}$	20
	$C_{э}$	60
	$C_{в}$	8
Верхняя лимитная цена стадии жизненного цикла i -го перспективного образца БПЛА, млн руб.	C_{pi}^{lim}	50
	$C_{пi}^{lim}$	10
	$C_{эi}^{lim}$	7
	C_{vi}^{lim}	1
m		5
n		7
p		4
r		4
$n_{пу}$		3
$n_{пт}$		4
$n_{эу}$		3
$n_{эт}$		4
$n_{ву}$		3
$n_{вт}$		5

Проведем на основании исходных данных комплексную оценку экономической эффективности НИОКР по перспективным образцам БПЛА. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты комплексной оценки экономической эффективности

Параметр	Формула	Значение параметра
I_p	(2)—(4)	0,20
$I_{п}$	(5)—(7)	0,25
$I_{э}$	(8)—(10)	0,21
$I_{в}$	(11)—(13)	0,20
I	(14)	0,22

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбокринова А. С., Грумондз В. Т. Динамика полета беспилотного планирующего летательного аппарата при малых скоростях и высотах старта // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 2. С. 79—85.
2. Трохов Д. А., Туркин И. К. К вопросу проектирования беспилотного летательного аппарата для решения разведывательных задач на море // Труды МАИ. 2014. № 78.
3. Артеменко И. В., Олешко В. С. Оценка производственных возможностей предприятия оборонно-промышленного комплекса по выпуску и ремонту авиационной техники // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2018. № 2 (138). С. 57—61.
4. Артеменко И. В., Олешко В. С. Методология военно-экономической оценки стоимости перспективных образцов авиационной техники // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2018. № 3 (139). С. 65—70.

Анализ табл. 2 показывает, что согласно приведенным расчетам показатели экономической эффективности стадий жизненного цикла БПЛА (разработки, серийного производства, эксплуатации и восстановления) имеют значения от 0,20 для стадий разработки и восстановления до 0,25 для стадии производства БПЛА.

Полученное в результате исследования усредненное значение показателя $I = 0,22$ свидетельствует о достаточно высокой эффективности реализации проектов НИОКР, из которых получили завершение пять из семи в нашем примере. Повышение комплексного показателя экономической эффективности I , возможно при количественном увеличении парка БПЛА, произведенных в интересах государственного заказчика. Также повышению значения экономической эффективности I будет способствовать унификация парка БПЛА.

Выводы

Таким образом, разработанная методика расчета позволяет осуществлять оценку результатов выполнения планов разработки новых образцов БПЛА с использованием комплексного показателя экономической эффективности программных мероприятий. Этот показатель отражает результаты военного применения перспективных образцов БПЛА и имеет денежное выражение через показатель верхних лимитных цен, а также ресурсные затраты, обеспечивающие достижение результата, в виде стоимостных показателей выполнения мероприятий по стадиям жизненного цикла образцов. Максимально возможное значение показателя экономической эффективности выполнения НИОКР по БПЛА соответствует оптимальному варианту развития образцов БПЛА в установленный программный период [1—8].

5. **Артеменко И. В., Олешко В. С.** Военно-экономическая оценка начальной стоимости контракта на разработку беспилотных летательных аппаратов // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 2 (142). С. 58—60.

6. **Андрецов А. Н., Артеменко И. В.** Ценообразование на НИР и ОКР военного назначения: учеб. пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2019. — 96 с.

7. **Андрецов А. Н., Артеменко И. В., Карнута И. В.** Основы нормативной правовой базы организации работы военных представительств МО РФ и предприятий ОПК: учеб. пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2019. — 80 с.

8. **Андрецов А. Н., Артеменко И. В.** Затраты предприятия и особенности формирования себестоимости оборонной продукции: учеб. пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2019. — 72 с.

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF R&D ABOUT PROMISING UAVS

I. V. Artyomenko, V. S. Oleshko

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

The article deals with the use of a comprehensive indicator of the economic efficiency of the life cycle stages of unmanned aerial vehicles. This comprehensive indicator reflects the results of the intended use of unmanned aerial vehicles, which has a monetary value through the indicator of the upper limit prices.

Keywords: economy, military-industrial complex, aviation, aviation equipment, unmanned aerial vehicle.

Bibliography — 8 references.

Received December 5, 2019

Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2020. Вып. 1. С. 1—60.

Редактор *О. А. Константинова*

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

Подписано в печать 10.03.2020. Формат 60х84 1/8.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,2.

Тираж 250 экз. Заказ 1946.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,

Волоколамское ш., 77. ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

Отпечатано в ООО «РАПИТОГРАФ».

117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 17Б.

Индекс 79379.

БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2020 г.
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Наименование издания	Индекс издания (количество выпусков в год)	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	79379 (4 вып.)	1550,00		
Конструкции из композиционных материалов	80089 (4 вып.)	1700,00		
Экология промышленного производства	80090 (4 вып.)	1500,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	79378 (4 вып.)	1750,00		
Вопросы защиты информации	79187 (4 вып.)	1750,00		
В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.				

Поставка журналов подписчикам через издательство осуществляется почтовыми бандеролями с приложением всех необходимых бухгалтерских документов.

Наши реквизиты:

Полное наименование организации: _____

Сокращенное наименование организации: _____

ИНН/КПП _____

ОКПО _____

Расчётный счёт № _____ в _____

к/с _____ БИК _____

Юридический адрес: _____

Почтовый адрес: _____

Контактное лицо _____ тел. _____

E-mail: _____

Справочно:

Заполненный бланк-заказ просьба отправить по факсу: 8(495) 491-44-80 или

E-mail: secretariat@ntckompas.ru

Более подробную информацию об изданиях и подписке можно получить по телефону:

8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-20.

E-mail: ivleva@ntckompas.ru

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское шоссе, д.77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».