

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средствам массовой коммуникации (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77-64098

от 18 декабря 2015 г.

Издается с сентября 2014 г.

Выходит 4 раза в год

ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно-технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических изданий ВАК

Группы научных специальностей и научные специальности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень:

05.07.00 Авиационная и ракетно-космическая техника [05.07.02 Проектирование конструкций и производство летательных аппаратов, 05.07.03 Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, 05.07.10 Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности],

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление [05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям), 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, 05.13.18 Математическое моделирование численные методы и комплексы программ, 05.13.19 Методы и системы защиты информации, информационная безопасность],

05.16.00 Metallургия и материаловедение [05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы, 05.16.08 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям), 05.16.09 Материаловедение (по отраслям)]

Подписной индекс в каталоге
НТИ-Роспечать 62191

Главный редактор
Артюшенко Владимир Михайлович,
д.т.н., профессор

Над выпуском работали
Паршина Ю.С.
Пирогова Е.В.
Багдасарян А.А.
Харитонов А.А.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site:www.unitech-mo.ru

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Информационно-технологический вестник», допускается только с письменного разрешения редакции.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, предоставленных авторами для публикации
Материалы приводятся в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Астахов А.В.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОВИНТОВЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....3

Вокин Г.Г.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ В УСЛОВИЯХ НАВИГАЦИОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ.....9

Исаев В.Г., Серёгин Н.Г.

АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ ФРЕЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ПРИМЕРЕ КОНСОЛЬНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ.....17

Макаров М.И., Рудаков В.Б., Макаров В.М., Мироничев В.А.
СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСЕЧЕННЫХ РИСКОВ.....24

Молчанов С.М., Усачёв Д.В., Сосунов М.В.

ОБЗОР СТАТИСТИКИ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ЛЁГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ВЫЖИВАЕМОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ ЛЁГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....38

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Антипина Н.М., Захаров В.Н., Протасов Ю.М.

ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ КРАСКЕЛА-УОЛЛИСА В ТАБЛИЧНОМ РЕДАКТОРЕ MS EXCEL.....46

Артюшенко В.М., Воловач В.И.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ НЕГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИХ МОДЕЛИРОВАНИИ.....55

Исаева Г.Н.

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ИНТЕРФЕЙСНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....63

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Барканов Е.Н.**, Dr.sc.ing.
2. **Васильев Н.А.**, д.т.н., профессор
3. **Леоненко Д.В.**, д.ф.-м.н., профессор
4. **Тимофеев А.Н.**, д.т.н., профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Аббасова Т.С.**, к.т.н., доцент
2. **Бухаров С.В.**, д.т.н., профессор
3. **Воловач В.И.**, д.т.н., профессор
4. **Логачева А.И.**, д.т.н., профессор
5. **Макаров М.И.**, д.т.н., профессор
6. **Матвиенко Ю.Г.**, д.т.н., профессор
7. **Разумовский И.М.**, д.ф.-м.н., профессор
8. **Рудаков В.Б.**, д.т.н., профессор
9. **Смердов А.А.**, д.т.н., профессор
10. **Стрелянок Ю.В.**, д.т.н., профессор

Подписано в печать 23.12.2019
Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 10,2
Тираж 500 экз.
Заказ № 75-19

Отпечатано в типографии
ООО «Научный консультант»
г. Москва
Хорошевское шоссе, 35, корп.2

Комраков А.А., Ушакова К.О., Исаев В.Г.
**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОМ
СЕКТОРЕ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО
КОМПЛЕКСА.....71**

Кручинина С.А., Ерёмина Е.В.
**РАЗРАБОТКА ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ.....83**

Поленов Д.Ю.
**СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ
РАСТЕНИЕВОДСТВА.....91**

Семенов А.Б., Аббасова Т.С.
**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ОПТИЧЕСКИХ РАЗЪЕМОВ LC ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....98**

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Дегтярев С.В., Андреев А.П., Фролов С.В.
**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
СОЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....108**

Исаев В.Г., Бутина Т.А., Дубровин В.М.
**МЕТОД РАСЧЕТА
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ
КАК ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ
В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ МАТЕРИАЛА.....118**

Тулузаков Д.В., Фролов С.В., Спирин Б.Л.
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....128**

Фролов С.В.
**АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ФЕРРОСПЛАВНОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ
ПРОДУКЦИИ.....140**

Цырков А.В., Юрцев Е.С., Рагуткин А.В., Цырков Г.А.,
Ермохин Е.А.
**РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЕКТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЛОЖНОЙ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ.....147**

УДК 629.7.036.74

**Проблемные вопросы методического обеспечения испытаний
электровинтовых силовых установок для малоразмерных
беспилотных летательных аппаратов**

А.В. Астахов, заместитель начальника отдела,
Войсковая часть 15650-16, г. Щёлково-4, Московская область

В статье обозначены основные проблемы методического обеспечения государственных испытаний силовых установок летательных аппаратов, оснащенных электрическими двигателями.

Испытания, электрический двигатель, электровинтовая силовая установка, методика испытаний, беспилотный летательный аппарат.

**Problematic issues of methodological support of tests of electric propeller
power plants for small-sized unmanned aerial vehicles**

A.V. Astahov, deputy head of department,
Army part 15650-16, Shchelkovo-4, Moscow region

The article identifies the main problems of methodological support of state tests of power plants of aircraft equipped with electric motors.

Tests, electric motor, electric propeller power plant, test procedure, unmanned aerial vehicle.

Под беспилотным летательным аппаратом (БЛА) понимают летательный аппарат, реализующий свое функциональное предназначение без непосредственного размещения человека на борту с целью управления. Термин БЛА является по существу обобщенным понятием и включает в себя всю совокупность технических авиационных систем, применение которых осуществляется при ограниченном участии человека в функциях управления [1, С. 1].

Основные преимущества БЛА перед пилотируемыми летательными аппаратами:

1. Возможность дистанционного управления;
2. Низкая стоимость производства;
3. Нет необходимости в постройке аэродрома. БЛА запускаются с помощью специального взлетного устройства – катапульты или с руки;
4. В случае использования электрической силовой установки, отсутствует необходимость в квалифицированной технической помощи для обслуживания летательного аппарата;
5. Увеличен межрегламентный период эксплуатации БЛА по сравнению с пилотируемым летательным аппаратом, либо может отсутствовать.

В настоящее время в интересах Министерства обороны Российской Федерации и других силовых ведомств выполняются опытно-конструкторские работы

по разработке беспилотных авиационных комплексов различного назначения для решения следующих задач:

- фоторазведки;
- ретрансляции сигналов;
- РЭБ;
- разведки радиоэлектронных средств;
- усложнения воздушной обстановки в качестве ложных целей;
- нанесения воздушных ударов;
- повышения эффективности и тренировки войск ПВО при использовании

БЛА как воздушных мишеней [2].

Стремительное развитие микропроцессорной вычислительной техники, искусственного интеллекта, систем управления, навигации и передачи информации обеспечило возможность применения БЛА в различных областях. В частности, для БЛА военного назначения обеспечивается возможность ведения разведки, поиска, выбора и уничтожения цели при любых метеоусловиях и в любое время суток. Поэтому во многих развитых и развивающихся странах активно ведутся разработки, как самих БЛА, так и силовых установок к ним.

Значительная часть разрабатываемых комплексов предполагает использование электрического двигателя (ЭД) в составе маршевой силовой установки. При этом развитие малоразмерной беспилотной авиации в России осуществляется на протяжении последних 20 лет, а работ по созданию и проведению испытаний авиационных электрических двигателей в нашей стране не проводилось.

Перспективным направлением в области развития электровинтовых силовых установок является внедрение и совершенствование синхронного бесколлекторного двигателя.

Основными причинами, обуславливающими использование бесколлекторного электродвигателя на БЛА являются:

1. Упрощенная конструкция электродвигателя из-за отсутствия коллектора;
2. Высокая удельная мощность до 5-7 кВт на 1 кг веса двигателя;
3. Высокий коэффициент полезного действия (до 95%);
4. Широкий диапазон скорости вращения ротора обеспечивающий более широкие возможности для пилотирования БЛА.

К числу основных недостатков, препятствующих их широкому применению, следует отнести сложный дорогостоящий электронный блок управления (электронный регулятор) частотой вращения ротора двигателя, отсутствие элементной базы и редкоземельных, высокоэффективных магнитов (Nd-Fe-B) отечественного производства. Бесколлекторный электрический двигатель представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Бесколлекторный электрический двигатель

В настоящее время, исходя из предполагаемой массы, энергопотребления, скорости и длительности полета БЛА существует возможность подобрать для него бесколлекторный электродвигатель.

С целью безусловного выполнения требований по безопасности полётов, авиационные двигатели должны иметь высокую надежность в течение установленного ресурса и обеспечивать в его пределах заданные технические и эксплуатационные характеристики, что подтверждается результатами наземных (стендовых) и летных испытаний.

Учитывая высокую стоимость летных испытаний (более чем в десять раз превышает стоимость наземных работ), их ограниченный объем вследствие недостаточных возможностей средств бортовых измерений, большое значение приобретает оценка технических и эксплуатационных характеристик электрических двигателей в стендовых условиях.

Актуализация развития отечественных беспилотных комплексов, оснащенных электрическими двигателями, обусловила проблему отсутствия нормативно-технической документации, определяющей общие тактико-технические требования к электровинтовым силовым установкам, методического обеспечения испытаний электрических двигателей, применяемых в составе авиационной силовой установки.

В настоящее время при разработке и испытаниях силовых установок с электровинтовым двигателем для БЛА используется нормативная документация, разработанная для проведения испытаний электронной аппаратуры летательных аппаратов, а также авиационных двигателей внутреннего сгорания, и при таких испытаниях фактически не учитываются конструктивные особенности современных электродвигателей, а также условия работы в качестве маршевого двигателя силовой установки БЛА.

Обоснование и разработка методического обеспечения испытаний силовой установки с электрическим двигателем для беспилотных летательных аппаратов, которая учитывала бы все особенности функционирования и выдвигала требования к испытательной базе, на данный момент является актуальной темой исследования.

Сейчас наиболее универсальной стендовой базой, обеспечивающей проведение испытаний и сопровождение эксплуатации всех типов двигателей для беспилотных летательных аппаратов, включая электрические, в интересах Министерства обороны и других силовых ведомств Российской Федерации, является стендовая база войсковой части 15650-16. Применительно к электрическим двигателям для БЛА, стендовая база позволяет проводить независимую и объективную оценку их технических и эксплуатационных характеристик (таблица 1).

Таблица 1 – Основные измеряемые величины

Наименование параметра	Диапазон измерения	Единица измерения	Количество каналов	Суммарная погрешность измерения, %
Силоизмерительная система				
Крутящий момент	0...10	Н·м	1	±0,5 от измеряемого значения (ИЗ)
Частота вращения вала двигателя	100 ... 15000	об/мин	1	±0,5 от верхнего предела (ВП)
Положение РУД	0 ... 100	%	1	±0,5 от ИЗ
Тяга силовой установки	0 ... 600	Н	1	±0,5 от ИЗ
Система измерения электрических параметров				
Напряжение	0 ... 60	В	3	±0,5 от измеряемого значения (ИЗ)
Сила тока	0 ... 200	А	3	±0,5 от верхнего предела (ВП)
Система измерения климатических показателей				
Температура	-50 ... +300	°С	5	±0,5 от ИЗ
Влажность	20...95	%	1	±1,0 от ИЗ
Система измерения вибраций				
Виброскорость (Виброускорение)	0 ... 100 (0 ... 10)	м/с (м/с ²)	2	±0,5 от верхнего предела (ВП)
Напряжение	0 ... 120	В	1	±0,5 от измеряемого значения (ИЗ)
Мощность	0 ... 3000	Вт	1	±1 от верхнего предела (ВП)
Система измерения температур				
Температура основных частей электродвигателя	60 ... 200	°С	5	±0,5 от ИЗ

Каналы измерения делятся на следующие группы: каналы измерения давлений, каналы измерения температур, канал измерения силовых параметров, каналы измерения вибраций, каналы измерения электрических параметров.

Основными расчетными параметрами являются крутящий момент, частота вращения, значение напряжения и силы тока, потребляемая электрическая мощность.

ность.

Испытательный стенд оборудован автоматизированной системой управления технологическим процессом испытаний (АСУ ТПИ) с целью сбора, обработки и анализа экспериментальных данных и выдачи информации по результатам анализа, а так же для обеспечения сигнализации аварийных режимов работы двигателя и стендовых систем.

В состав АСУ ТПИ входят:

- первичные преобразователи измеряемых физических величин;
- блоки математической обработки информации и регистрации данных выходных;

- персональный компьютер (ПК);
- устройство связи с объектом (УСО);
- графический дисплей с клавиатурой и интерфейсом;
- печатающее устройство.

АСУ стенда обеспечивает:

- основное управление двигателем и стендовыми системами в автоматическом режиме и дублирующее (аварийное) управление в ручном режиме;
- установку заданных режимов и параметров работы двигателя с требуемой точностью;

- контроль параметров и состояния двигателя, а также стендового оборудования при испытаниях в объёме, обеспечивающем выполнение требований конструкторской документации двигателя, руководств по эксплуатации стендового оборудования, технологического процесса испытания и безопасность испытаний;

- выдачу оператору сигналов, в том числе аварийные, характеризующих работоспособность двигателя и стендовых систем;

- автоматическое измерение параметров двигателя и стендовых систем на установившихся и неуставившихся режимах работы;

- информацией о состоянии двигателя и процесса испытаний;

- математическую обработку результатов испытаний в темпе эксперимента;

- печать протоколов с результатами регистрации и обработки параметров двигателя, агрегатов, систем;

- аттестацию, проверку, градуировку измерительных систем;

- хранение результатов испытаний в памяти ПК;

- автоматическую фиксацию времени, даты и режима испытаний.

Испытательная база войсковой части 15650-16, предназначенная для проведения испытаний авиационных силовых установок, в том числе и силовых установок с электровинтовым двигателем, позволяет провести оценку их работы в полном объеме. Доработки испытательного оборудования связаны лишь с особенностями монтажа двигателя на стенде и особенностями системы измерения его параметров рабочего процесса. Увеличения количества и типов каналов системы измерения для проведения работ не требуется.

Выводы

1. Существующая в войсковой части 15650-16 испытательная база позволит провести исследования в области обоснования методического подхода к проведению государственных (приемочных) стендовых испытаний электродвигате-

лей, входящих в состав силовых установок ЛА военного назначения.

2. В связи с отсутствием в настоящее время опыта проведения испытаний электродвигателей силовых установок ЛА, целесообразно для отработки комплексного подхода к оценке их технических характеристик применять электродвигатели в беспилотных летательных аппаратах.

Литература

1. ГОСТ Р 57258-2016 – Системы беспилотные авиационные. Термины и определения // М. Стандартинформ, 2016. 11с.
2. Электродвигатели. Дмитрий Левин [Электронный ресурс]. URL: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/#classification> (дата обращения 30.11.2019 г.).

УДК 621.78

Концептуальные основы обеспечения защиты позиционирования стационарных и мобильных объектов по данным космических систем глобальной навигации в условиях навигационного противодействия

Г.Г. Вокин, доктор технических наук, профессор, зав. базовой кафедрой
«Управление и информационные технологии в космических системах»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Обосновывается необходимость принятия мер по защите позиционирования объектов по данным космических навигационных систем (КНС) при возникновении конфликтных ситуаций, анализируются подходы и формируются научно-технические предложения по построению ключевых элементов аппаратных и программно-алгоритмических средств, обеспечивающих эффективную навигационную защиту определений вектора состояния объектов по данным одновременно функционирующих таких КНС, как Глонасс и GPS, а также по данным навигационных средств другой физической природы в условиях интенсивного навигационно-информационного противодействия и воздействия организованных естественных и промышленных радиопомех.

Навигационные системы, навигационное противодействие, защита позиционирования объектов.

Conceptual bases of provision of protection of positioning of stationary and mobile objects according to space systems of global navigation in the conditions of navigation counteraction

G.G.Vokin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the basic Department
«Management and information technologies in space systems»,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The article substantiates the need to take measures to protect the positioning of objects according to space navigation systems (CNS) in the event of conflict situations, analyzes approaches and forms scientific and technical proposals for the construction of key elements of hardware and software-algorithmic tools that provide effective navigation protection of the definitions of the state vector of objects according to simultaneously functioning CNS such as GLONASS and GPS, and also according to the data of navigation means of other physical nature in the conditions of intensive navigation and information counteraction and influence of organized natural and industrial radio interference.

Navigation systems, navigation counteraction, object positioning protection.

Введение

В настоящее время, когда во все возрастающем масштабе внедряются электронные средства связи, автоматизированные системы приема, хранения, обработки и обмена информацией между структурными элементами современных систем и комплексов военного и социально-экономического назначения, в эпоху вирусов и хакеров, электронной разведки и дезинформации вопросы защиты информации в целях обеспечения ее безопасности приобретают первостепенное значение.

Актуальность решения этих вопросов особенно значима для систем массового обслуживания, в частности, космических радионавигационных систем Глонасс и GPS, обеспечивающих в глобальном масштабе высокоточное непрерывное определение местоположения объектов различного базирования и целевого назначения.

Наметившаяся устойчивая тенденция роста номенклатуры и количества потребителей навигационной информации КНС (к 2020 г. только на Европейском континенте ожидается более 200 миллионов пользователей этих систем), а также высокая эффективность, в первую очередь, боевого применения различных систем и комплексов вооружения, использующих КНС, предопределили постановку на повестку дня вопроса об обеспечении устойчивости функционирования КНС в условиях воздействия внешних факторов [1-6].

Особенно остро этот вопрос стоит при воздействии организованных внешних факторов, сопровождающих процесс информационного противоборства конфликтующих сторон и ведения ими интенсивной радиоэлектронной борьбы. В этих условиях основными потенциальными объектами преднамеренного воздействия будут радиоэлектронные средства систем, в частности, структурных элементов КНС Глонасс и GPS, обеспечивающих обмен информацией между ними и автоматизированную ее обработку в интересах решения целевых задач объектами-потребителями информации КНС.

Значимость обеспечения устойчивого функционирования отечественной КНС существенно возрастает в связи с тем, что США – держатели КНС GPS приступили к разработке и реализации концепции ведения навигационной войны. Суть концепции заключается в модернизации системы GPS в направлениях надежного и устойчивого навигационного обеспечения своих мобильных объектов, в первую очередь, военного и двойного назначения, а также объектов своих союзников при соблюдении ими определенных условий, и предотвращения использования КНС GPS потенциальными противниками не только в периоды обострения международной обстановки и ведения локальных боевых действий, но и в мирное время. В последнем случае руководство США планирует реализацию селективного доступа к навигационной информации КНС GPS даже для объектов-потребителей своих союзников, предоставляя услуги только на условиях их оплаты.

В настоящее время орбитальная группировка отечественной КНС Глонасс развернута не в полном составе и предлагается дополнительно использовать КНС GPS для навигационно-временного обеспечения с необходимой точностью отечественных объектов-потребителей навигационной информации, что привело к необходимости создания интегрированной бортовой аппаратуры, позволяющей од-

новременно использовать сигналы КНС Глонасс и GPS.

Использование интегрированной навигационной аппаратуры потребителей (НАП) навигационной информации таит в себе реальную угрозу преднамеренного воздействия на средства автоматизированной обработки информации аппаратуры потребителей объектов-пользователей КНС Глонасс и GPS, что может привести к формированию неадекватной реальной обстановке информации, провоцирующей ее потребителя на ошибочные действия.

Поэтому разработка научно-технических предложений по обеспечению защиты позиционирования стационарных и мобильных объектов по данным от космических радионавигационных систем Глонасс и GPS в условиях навигационного противодействия и воздействия организованных радиопомех является задачей актуальной, решение которой направлено на обеспечение устойчивого функционирования аппаратуры потребителей навигационной информации упомянутых КНС при информационном противоборстве конфликтующих сторон и ведении интенсивной радиоэлектронной борьбы.

Укажем на ожидаемые виды воздействия, которым могут быть подвержены структурные элементы КНС:

на навигационные космические аппараты (НКА) орбитальной группировки могут воздействовать огневые средства противокосмической обороны или оружие на новых физических принципах (СВЧ – оружие, ЭМИ – оружие, лазерное оружие); наземные элементы КНС, в том числе и НАП, могут быть подвержены: диверсионным воздействиям, воздействиям высокоточного оружия, радиоэлектронному подавлению и радиоканалов обмена информацией, воздействию информационного оружия (средств и способов специального программно-технического воздействия на элементы программно-алгоритмического обеспечения функционирования структурных элементов КНС).

Все обсуждаемые в последующем предложения направлены на снижение отрицательного влияния упомянутых поражающих факторов и помех на точность и надежность позиционирования объектов по данным КНС.

Космические навигационные системы являются большими пространственно-распределёнными системами. Хотя им присуще большое число «входов» разного рода факторов, которые в зависимости от интенсивности их могут привести к существенному снижению функциональной или физической живучести КНС, тем не менее, как показывает анализ, преднамеренный вывод их из строя требует широкомасштабных воздействий физического или организационно-технического характера, что связано, естественно, с большими требуемыми ресурсами, часто не приемлемыми для противника, вытекающими из относительно невысокого по сравнению с затратами вклада в приращение эффективности противодействия.

На выбор воздействия на тот или иной элемент влияет, в первую очередь, соотношение затрат и наносимого ущерба, потому что КНС в силу её распределенности вывести из строя при однократном воздействии по существу не представляется возможным.

Наиболее уязвимым элементом КНС, как показывает анализ, является навигационная аппаратура потребителя. В силу принципа своего построения НАП подвержена не только организованным помехам, но работа её существенно зависит также и от естественных и индустриальных помех [6].

1. Проблемные вопросы защиты позиционирования объектов

В связи с наличием ожидаемых реальных угроз срыва решения навигационных задач по данным КНС в условиях конфликтных ситуаций целесообразно на этапах разработки, модернизации и эксплуатации упомянутых систем обеспечить решение следующих проблемных вопросов:

разработка способов выявления навигационных помех и организованных радиопомех при определении местонахождения объектов по данным от КНС Глонасс и GPS;

разработка принципиальных научно-технических подходов и решений по построению аппаратных средств, обеспечивающих эффективную навигационную защиту при проведении определений местоположения объектов по данным от одновременно функционирующих КНС Глонасс, GPS и по данным навигационных систем другой физической природы в угрожаемый период или в период конфликтных ситуаций;

обоснование программно-алгоритмических способов, выбор эффективных организационно-технических мер и создание средств обеспечения защиты навигационных определений объектов по комплексированной информации, выдаваемой одновременно функционирующими КНС Глонасс, GPS в условиях интенсивного навигационного противодействия и создания организованных радиопомех;

оценка ожидаемого эффекта от использования методов дифференциальной навигации для защиты позиционирования объектов по данным КНС в условиях интенсивного противодействия;

определение рационального технического облика аппаратно-программных средств, обеспечивающих высоконадежные навигационные определения стационарных и мобильных объектов по данным от одновременно функционирующих КНС Глонасс, GPS в условиях организованного навигационного противодействия и целенаправленных радиопомех;

оценка ожидаемого эффекта от использования перспективных технологий комплексной защиты позиционирования объектов по данным, получаемым от одновременно функционирующих КНС Глонасс, GPS и от минимального состава навигационных систем другой физической природы в условиях интенсивного навигационного противодействия и воздействия организованных радиопомех.

2. Пути решения задач навигационной защиты объектов в условиях противодействия

В современных условиях, когда информационное противоборство конфликтующих сторон становится нормой, а ведение интенсивной радиоэлектронной борьбы в особые периоды военно-политической обстановки (ВПО) – угрожаемый период, локальные боевые действия, война и т.п. – являются средством достижения конечных целей в конфликтах любого масштаба, организованное радиоэлектронное противодействие радиоканалам приема навигационных сигналов интегрированной АП представляет реальную угрозу срыва навигационно-временного обеспечения объектов различного базирования и целевого назначения, в первую очередь, военного и двойного назначения.

Поэтому не случайно специалисты МО США в области информационного

противоборства особое внимание уделяют исследованию варианта обеспечения помехозащищенности радиоканалов различных систем и комплексов информационного обеспечения боевых действий в различных зонах их ведения. При этом обеспечению помехозащищенности АП навигационной информации КНС GPS, радиоэлектронное подавление которой приводит к срыву навигации мобильных объектов, уделяется особо серьезное внимание, поскольку система GPS – ключевой элемент в системе вооружения США, способный осуществлять навигационно-временное обеспечение объектов различного базирования с требуемой точностью, в том числе обеспечить решение задач нанесения высокоточных ударов по наземным и надводным объектам летно-подъемными носителями высокоточного оружия и ракетами класса «воздух – Земля», «корабль – Земля» и «Земля – Земля».

На основе анализа возможностей навигационных технических систем и средств различной физической природы по обеспечению высоконадежных навигационных определений объектов различного базирования и назначения, установлено, что:

ни одна из известных навигационных технических систем (средств) различной физической природы самостоятельно не может претендовать на обеспечение высоконадежных навигационных определений объектов с требуемой точностью в условиях организованного и целенаправленного противодействия;

рациональный технический облик аппаратно-программных средств, обеспечивающих высокоточные, устойчивые и надежные навигационные определения объектов различного базирования и назначения, может быть реализован при комплексном использовании интегрированной навигационной информации и навигационных средств другой физической природы, которые обладают автономностью функционирования, исключающей влияние внешних воздействий на результаты их функционирования;

в условиях организованного навигационного противодействия и воздействия радиопомех рациональный технический облик аппаратно-программных средств может быть реализован на базе комплексирования интегрированной АП навигационной информации КНС с ИНС при использовании тесно связанной схемы их сопряжения. Это позволит сочетать свойства и возможности комплексизируемых навигационных средств таким образом, что качество одних позволит компенсировать недостатки других, а получаемый «синергетический» эффект от комплексирования будет превосходить сумму «частных» эффектов от каждого средства в отдельности.

Одновременно с расширением фронта работ по поиску оптимальных схем сопряжения АП навигационной информации с ИНС, совершенствованию способов обработки навигационных сигналов в приемном устройстве АП навигационной информации большое внимание в настоящее время уделяется разработке малогабаритных антенных решеток, позволяющих формировать управляемые диаграммы направленности антенн и способных существенно снижать («обнулять») усиление антенны в направлении на источник радиопомех.

Оптимальные схемы сопряжения АП навигационной информации с ИНС обеспечивают получение преимуществ, недостижимых каждым из комплектующих навигационных средств в отдельности: непрерывно накапливаемая с течением времени ошибка ИНС постоянно удерживается в пределах ошибки АП навига-

ционной информации, а высокочастотные шумы приемника АП, приводящие к ошибке в измерениях навигационных параметров, сглаживаются ИНС.

В последнее время в США проводятся комплексные исследования вопросов обеспечения помехозащищенности разработанных схем сопряжения АП навигационной информации и ИНС совместно с различными вариантами антенных систем приемного устройства АП навигационной информации. Результаты этих исследований показали, что комплексирование АП с ИНС с одновременным использованием приемных антенн с управляемыми диаграммами направленности позволяют существенно повышать устойчивость функционирования АП навигационной информации в условиях воздействия организованных радиопомех. Положительный эффект достигается как за счет выбора оптимальных схем сопряжения АП с ИНС, так и за счет снижения уровня организованных радиопомех на входе приемного устройства при использовании антенн с управляемой диаграммой направленности.

Конкретный ожидаемый эффект (повышение помехозащищенности навигационно-временного обеспечения объектов) от реализации комплексирования АП с ИНС и одновременным использованием антенн с управляемыми ДН зависит от вида базирования объектов-потребителей навигационной информации КНС, решаемых ими задач, характеристик сопрягаемых средств навигации и средств постановки помех, а также от взаимного расположения объектов-потребителей навигационной информации и средств постановки помех.

Как свидетельствуют результаты анализа зарубежной информации [1-5], оценки зависимости величины ошибки определения местоположения летательного аппарата (ЛА) от дальности до цели, прикрываемой, например, постановщиком активной широкополосной (20 МГц) шумовой помехи мощностью 2 кВт, при условии использования ИНС среднего класса точности с накоплением ошибки в режиме счисления координат 1,8 км/час при скорости полета ЛА, соответствующей числу $M = 0,8$ и высоте полеты 1500 м, в случае следующих, например, 4-х вариантов сопряжения инерциальной навигационной системы и аппаратуры потребителей навигационной информации:

- 1) несвязанное сопряжение ИНС и АП навигационной информации и ненаправленная антенна (неуправляемая диаграмма направленности – ДН);
- 2) тесносвязанное сопряжение ИНС и АП навигационной информации и ненаправленная антенна (неуправляемая ДН);
- 3) несвязанное сопряжение ИНС и антенна с управляемой ДН;
- 4) тесносвязанное сопряжение ИНС и АП навигационной информации и антенна с управляемой ДН

показывают, что тесносвязанная схема сопряжения для случая использования антенны с неуправляемой ДН позволяет по сравнению с несвязанной схемой сопряжения уменьшить дальность срыва сопровождения сигналов НКА примерно в два раза и снизить ошибку попадания в цель более чем в два раза.

Однако, как показывает анализ, решающую роль в повышении помехозащищенности навигационной комплексированной системы (АП + ИНС) играет тип антенны приемного устройства АП навигационной информации. Использование антенны с управляемой ДН позволяет ЛА приблизиться к цели в указанной помеховой обстановке без срыва сопровождения сигналов НКА на расстояния соответ-

ственно 10 и 5 км, а также снизить промах соответственно до 23 и 17 метров.

По результатам анализа зависимостей отношения мощности помехи к мощности сигнала НКА на входе антенны приемного устройства АП навигационной информации от дальности до цели, прикрываемой постановщиком помех, и значений этого отношения, соответствующие рубежам срыва сопровождения сигналов НКА приемным устройствам АП навигационной информации для упомянутых четырех вариантов комплексированной навигационной системы объекта, можно сделать выводы о том, что для вариантов с ненаправленной антенной приемного устройства АП навигационной информации тесно связанное сопряжение ИНС и АП имеет небольшой (порядка 5 дБ) положительный эффект (повышение помехозащищенности) по сравнению с несвязанным сопряжением. Существенный прирост ожидаемого эффекта (повышение помехозащищенности комплексированной навигационной системы объекта) достигается за счет использования антенны с управляемой ДН. Так, прирост ожидаемого эффекта варианта 3 по сравнению с вариантами 1 и 2 соответственно составляет 25 дБ и 20 дБ, то есть срыв сопровождения сигнала НКА наступает при больших на 25 дБ и 20 дБ отношениях мощности помехи к мощности сигнала на входе антенны.

Прирост ожидаемого эффекта варианта 4 по сравнению с вариантами 1, 2 и 3 соответственно составляет 35 дБ, 30 дБ и 10 дБ. Кроме того, если срыв сопровождения сигналов навигационных НКА при антенне с неуправляемой ДН наступает на дальностях до цели соответственно примерно 190 км (вариант 1) и примерно 100 км (вариант 2), то при антенне с управляемой ДН срыв сопровождения навигационного сигнала наступает на дальностях до цели соответственно примерно 15 км и 5 км. В конечном итоге это существенно влияет на качество решения носителем высокоточного оружия своей целевой задачи.

3. Заключение

Несмотря на наличие большого спектра потенциальных противодействий, которые могут быть направлены на снижение точности и надежности навигационно-временных определений объектов по данным КНС, можно констатировать, что имеются реальные возможности сохранения достаточно высоких навигационных характеристик позиционирования на основе комплексирования систем различной физической системы в сочетании с организационно-техническими мерами. В частности, результаты оценок комплексирования АП навигационной информации с ИНС свидетельствуют о том, что эффект по существу требуемого уровня может быть достигнут, если на объектах будут размещены комплексированные с ИНС интегрированные АП навигационной информации КНС Глонасс и GPS и антенны с управляемыми диаграммами направленности.

Литература

1. Концепция создания единой информационно-управляющей структуры ВС США // Зарубежное военное обозрение, 2003. № 1.
2. Радиоэлектронная война в операциях ВС США на период до 2025 г. // Вып. ЦИВПЗС, 2002. № 2204.
3. Лукацкий А. Обнаружение атак // Санкт-Петербург, 2003.
4. Объекты поражения – электроника // НВО, 2001. № 39.

5. Система GPS и навигационная война // сб. «Иностранная печать об экономическом, научно-политическом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления»: Информационный бюллетень ВИНИТИ, серия ТСР, 1999. № 3.
6. Глобальная спутниковая навигационная система «Глонасс». Под ред. Харисова В.Н., Перова А.И., Болдина В.А. // М. ИПРЖР, 1998.

УДК 681.586:629.78

Анализ надёжности фрезерного технологического оборудования предприятий ракетно-космической техники на примере консольных фрезерных шпиндельных узлов

В.Г. Исаев, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления качеством и стандартизации, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область, **Н.Г. Серёгин**, кандидат технических наук, доцент, главный специалист, Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники», г. Королев, Московская область

Рассмотрено применение комплексного расчётно-экспериментального метода оценки надёжности технических систем на примере консольных фрезерных шпиндельных узлов. Выполнен комплекс исследований консольных фрезерных шпиндельных узлов на надёжность. Проведены стендовые ускоренные испытания. В результате исследований для дальнейшего практического применения предложена конструкция консольного фрезерного шпиндельного узла.

Надёжность технических систем, консольные фрезерные шпиндельные узлы, подшипниковые опоры качения, стендовые ускоренные испытания на надёжность, экспериментальная установка.

Analysis of reliability of milling technological equipment of rocket and space technology enterprises on the example of console milling spindle units

V.G. Isaev, candidate of technical Sciences, associate Professor, head of the Department of quality management and standardization State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

N.G. Seregin, candidate of technical Sciences, associate Professor, chief specialist of the joint-Stock company «Scientific and production Association of measuring equipment», Korolev, Moscow region

The application of a complex computational and experimental method for assessing the reliability of technical systems on the example of cantilever milling spindle units is considered. The complex of researches of console milling spindle knots on reliability is executed. Bench accelerated tests were carried out. As a result of researches for further practical application the design of the console milling spindle unit is offered.

Reliability of technical systems, cantilever milling spindle units, bearing supports rolling, bench accelerated reliability tests, experimental setup.

Предмет исследования.

Разработанный авторами ранее комплексный расчётно-экспериментальный метод оценки надёжности технических систем летательных аппаратов [1] позволяет выполнить анализ надёжности фрезерного технологического оборудования предприятий ракетно-космической техники. Рассмотрим поставленную задачу на примере консольных фрезерных шпиндельных узлов.

Фрезерные станки имеют широкое применение при обработке различных материалов от древесины [2] до металла [3]. Основными исполнительными механизмами фрезерных станков являются суппорта [3]. Часть фрезерного суппорта, представляющая собой вращающийся вал, на который закрепляют режущий инструмент, называют фрезерный шпинделем, а его конструктивное исполнение в корпусе в подшипниковых опорах – фрезерным шпиндельным узлом. Качественные характеристики работы фрезерных станков, а именно, стабильность технологического процесса фрезерования деталей и их технологическую точность, определяют жёсткость, точность вращения, виброустойчивость и надёжность шпиндельных узлов. Анализ конструкций фрезерного металлорежущего оборудования [3] выявляет широкое распространение и перспективность консольных фрезерных шпиндельных узлов. Фрезерный инструмент непосредственно закрепляют на валу электродвигателя, который называют электрошпинделем, но в большинстве случаев на валу шпинделя, вращающегося электродвигателем через ремённую передачу. Радиальное биение шпинделя фрезерного станка не должно превышать 0,005 мм, а жёсткость должна быть не менее 250 кН/мм.

Типовые схемы консольных фрезерных шпиндельных узлов (ШУ) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Типовые схемы консольных фрезерных шпиндельных узлов (ШУ)

№ схемы ШУ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СХЕМА ШУ										
Мощность привода, кВт	4,1	5,5	4,1	5,5	18...5,5	18...5,5	4,0...5,5	5,5	5,5	5,5
подшипники опор	5-211 + 5-211	6-309 + 6-309	5-36211 + 6-36208	5-436211 + 6-211	5-436211 + -36208	5-436211 + -36208	5-36209*2 + 6-207	Дин 625*2 + Лин 625*2	6009 x 3 + 6309	436211+36211 + 36211*2
частота вращения, мин ⁻¹	6000	5000	6000	5000, 6000	3500... 12000	3500... 12000	6150	6000	6000	5000, 6000
Точность обработки, мкм	12...14	13...16	11...14	13...16	11...14	11...14	13...15	12...15	12...15	12...15
Сназка	индустр. 12	ЦИАТИМ 203	индустр. 12	ЦИАТИМ 20	индустр. 12	ВНИИ-ИП 228 (502)	1-13	ВМ-102	ВЛ-110	ВНИИ-ИП 228
Тип приводного ремня	плоский	клиновое	плоский	клиновое	плоский	плоский	клиновое	плоский	плоский	клиновое

Наиболее распространёнными являются схемы с № 4 по № 8, в которых в передней опоре установлены сдвоенные радиально-упорные подшипники, а в задней – радиально-упорные или радиальные. Это подшипники серии 36200, которые чаще образуют дуплекс, т.е. их устанавливают по два в опоре. Различают О-

схему, Т-схему и Х-схему монтажа дуплексированных подшипников, обеспечивающие выдержку допустимой нагрузки на опоры и увеличение жёсткости шпиндельных узлов, позволяющие избежать заметного влияния вибраций, связанных с переменной жёсткостью подшипников при вращении. Благодаря высокой жёсткости дуплексов, точность вращения шпинделя в опоре из двух подшипников качения всегда выше, чем в опоре из одного. Шпиндельные узлы № 4, № 5, № 6 и № 8 смонтированы по Т-схеме, № 7 – по Х-схеме. Шпиндельный узел № 10 в своей конструкции объединяет две схемы: О-схему и Т-схему. Дуплексированные подшипниковые опоры позволяют создать предварительный натяг и обеспечить равномерное распределение усилий между подшипниками, поэтому их применяют в конструкциях быстроходных валов, воспринимающих консольную нагрузку. Втулки неравномерной длины, установленные между подшипниками шпиндельных узлов № 7, № 8 и № 10, и тарировочные пружины шпиндельных узлов с № 3 по № 6 и № 9 также позволяют обеспечить предварительный натяг. Повышенная жёсткость шпиндельного узла № 7 обеспечена разнесением на 40 мм друг от друга подшипников верхней опоры.

Консистентная смазка повышенной долговечности, ресурс которой соответствует ресурсу подшипников качения, применяют при смазке опор качения современных фрезерных шпинделей. В большинстве случаев привод консольных фрезерных шпиндельных узлов осуществляют электродвигателями через клиновую или поликлиновую передачу.

Цель и задачи исследования.

Целью исследования является анализ надёжности консольных фрезерных шпиндельных узлов и разработка практических рекомендаций по выбору их перспективных конструктивных вариантов.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- определение показателей надёжности базовой конструкции консольного фрезерного шпиндельного узла;
- проведение сравнительных испытаний на надёжность различных конструктивных вариантов консольных фрезерных шпиндельных узлов;
- исследование динамики в опорах фрезерного шпинделя;
- выявление закономерностей изменения во времени показателей надёжности консольных фрезерных шпиндельных узлов;
- выявление фактических ресурсов основных деталей и сборочных единиц, определяющих надёжность консольного фрезерного шпиндельного узла;
- определение причин отказов и выявление их физической сущности.

Методы и средства достижения цели.

Вопросам анализа и оценки надёжности технических систем и, в частности, фрезерного технологического оборудования посвящён ряд исследовательских работ [4, 5, 6, 7], но непосредственно вопросы анализа надёжности консольных фрезерных шпиндельных узлов недостаточно глубоко изучены.

Анализ надёжности консольных фрезерных шпиндельных узлов, как и любой технической системы [6, 7], следует начинать с определения оценочных

показателей, измеряемых параметров и методов измерения. Возникающие в процессе эксплуатации консольных фрезерных шпиндельных узлов характер и скорость изменения геометрической точности, статической и динамической жёсткости, технологической точности, уровня вибраций, температуры подшипников качения характеризуют вид и значения оценочных показателей, позволяющих по результатам стендовых ускоренных испытаний консольных фрезерных шпиндельных узлов произвести расчёт их надёжности. Непосредственно для консольных фрезерных шпиндельных узлов можно рекомендовать следующие измеряемые параметры: деформацию консоли шпиндельного узла от статических нагрузок, амплитуду виброперемещений от динамических нагрузок, радиальное биение консоли шпиндельного узла, температуру подшипниковых опор, амплитудно-частотный спектр консоли шпиндельного узла на холостом ходу и при фрезеровании и уровень шума.

Методы измерения и конструктивные схемы нагрузочно-имитирующих устройств испытательных стендов для исследования надёжности механизмов фрезерных станков общеизвестны [5], поэтому в настоящей работе рассмотрены лишь специфические для консольных фрезерных шпиндельных узлов методы и средства проведения их стендовых ускоренных испытаний. Амплитудно-частотный спектр динамических колебаний консоли фрезерного шпиндельного узла измеряли бесконтактным методом на экспериментальной установке (рис.1) с помощью индуктивного датчика.

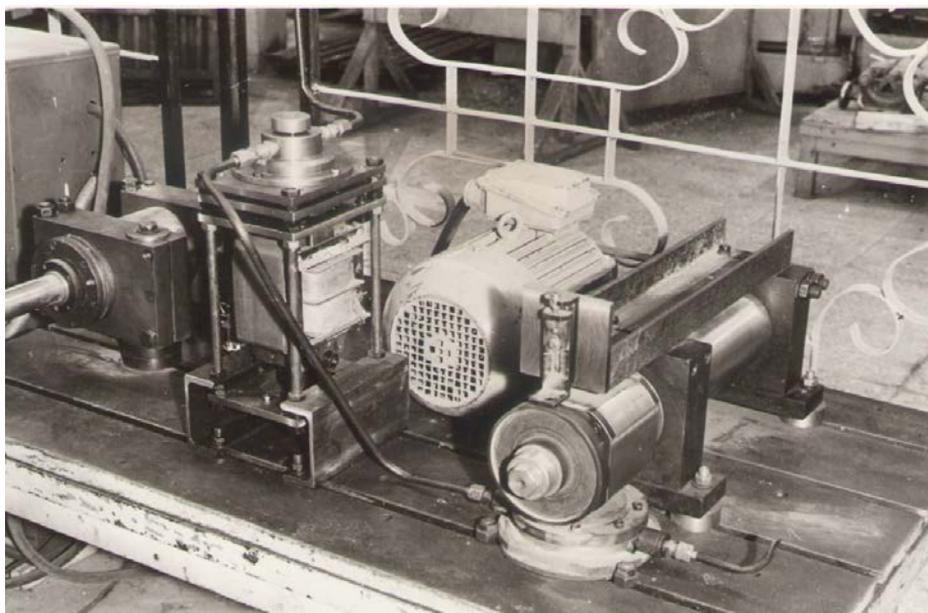


Рисунок 1 – Экспериментальная установка исследования надёжности консольных фрезерных шпиндельных узлов

Нагрузочно-имитирующее устройство состоит из электрогенератора, оборудованного электромагнитными обмотками постоянного и переменного тока, и диафрагменного гидрогенератора, заполненного индустриальным маслом. Так как

гидросистема нагрузочно-имитирующего устройства полностью заполнена индустриальным маслом, то при включении электрогенератора вибрационная нагрузка через подшипниковую насадку передаётся на консоль фрезерного шпиндельного узла. Электромагнитные обмотки электрогенератора имитируют дисбалансные колебания консоли шпинделя от режущего инструмента и импульсы сил резания.

Зависимость амплитуды колебаний консоли фрезерного шпиндельного узла A от динамической нагрузки на неё от режущего инструмента $F_{ин}$ выражает динамическую жёсткость $C_{дин}$ упругой системы консольного фрезерного шпиндельного узла:

$$C_{дин} = F_{ин} / A. \quad (1)$$

Дисбалансная масса режущего инструмента m является источником динамической нагрузки $F_{ин}$, которая определяется следующим образом:

$$F_{ин} = m e (\pi n / 30)^2, \quad (2)$$

где:

m – масса режущего инструмента, кг.;

e – эксцентриситет режущего инструмента, м.;

n – частота вращения режущего инструмента, мин.⁻¹.

Значение динамической жёсткости упругой системы консольного фрезерного шпиндельного узла $C_{дин}$ определено по формуле (1) по результатам экспериментальной оценки амплитудно-частотного спектра консоли фрезерного шпиндельного узла, позволившей определить амплитуду колебаний консоли фрезерного шпиндельного узла A и дисбалансную массу режущего инструмента m .

Применение в конструкции экспериментальной установки (рис. 1) термопар из хромель-капели позволило измерить температуру подшипников консольного фрезерного шпиндельного узла.

Методика проведения стендовых ускоренных испытаний консольных фрезерных шпиндельных узлов заключалась в определении следующих показателей надёжности: вероятности безотказной работы $P(t)$, среднего ресурса T_p , установленного ресурса $T_{пу}$ и среднего времени восстановления работоспособного состояния T_v . Режимы и программы нагружений консольных фрезерных шпиндельных узлов в процессе проведения их стендовых ускоренных испытаний разработаны на основании результатов эксплуатационных наблюдений за работой их прототипов или наиболее близких аналогов.

Параметры характерные для условий проведения стендовых ускоренных испытаний консольных фрезерных шпиндельных узлов следует разделить на четыре группы:

- 1) относящиеся к исследуемому изделию;
- 2) относящиеся к фрезеруемому материалу (металлу, полимерным материалам, композиционным материалам и к другим);
- 3) относящиеся к фрезерному инструменту;
- 4) относящиеся к режимам работы экспериментальной установки.

Параметры характерные для исследуемого консольного фрезерного шпиндельного узла определяют его статическую и динамическую жёсткости, геометрическую и технологическую точности, амплитудно-частотный спектр динамических колебаний консоли фрезерного шпиндельного узла и уровень шума. Параметры характерные для фрезеруемого материала определяют его физико-механические свойства: плотность, вязкость, упругость, однородность структуры. Параметры характерные для фрезерного инструмента определяют его диаметр, число режущих элементов, линейные и угловые значения режущих элементов, материал режущих элементов, их радиус затупления, дисбаланс. Параметры характерные для режимов работы экспериментальной установки определяют частоту вращения консоли фрезерного шпиндельного узла, величину дисбалансной массы, напряжение и силу тока в обмотке постоянного тока электрогенератора, напряжение, частоту и силу тока в обмотке переменного тока электрогенератора, продолжительность непрерывной работы экспериментальной установки и продолжительность её плановых остановок.

Перед началом стендовых ускоренных испытаний на надёжность необходима следующая подготовка консольного фрезерного шпиндельного узла:

- контроль геометрических размеров деталей консольного фрезерного шпиндельного узла на соответствие техническим требованиям, указанным в конструкторской документации;
- сборка консольного фрезерного шпиндельного узла;
- заточка и балансировка фрезерного инструмента;
- определение геометрической точности, статической жёсткости и уровня вибраций консольного фрезерного шпиндельного узла на холостом ходу;
- настройка экспериментальной установки для выполнения стендовых ускоренных испытаний.

Стендовым ускоренным испытаниям предшествовала сто часовая обкатка консольного фрезерного шпиндельного узла с имитацией номинального средне-статистического режима нагружения. Затем приступили к выполнению программы стендовых ускоренных испытаний с периодическим замером показателей технического состояния консольного фрезерного шпиндельного узла по наработке. Периодичность наработки консольного фрезерного шпиндельного узла между контрольными замерами составляла пятьсот часов. Продолжительность комплекса стендовых ускоренных испытаний определялась ресурсом консольного фрезерного шпиндельного узла до того момента, когда замена подшипников качения перестала обеспечивать установленные нормативные значения выходных параметров консольного фрезерного шпиндельного узла.

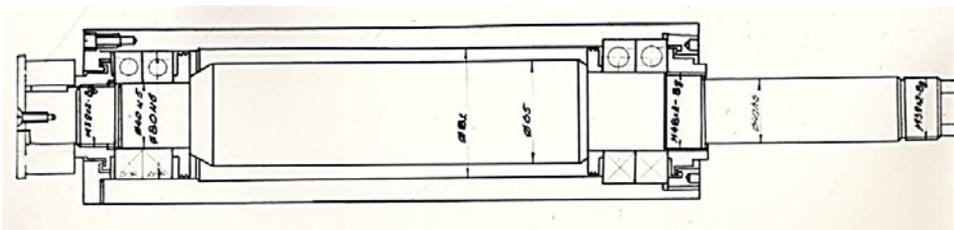


Рисунок 2 – Разработанная конструкция консольного фрезерного шпиндельного узла

Результаты исследования.

В результате применения комплексного расчётно-экспериментального метода исследования надёжности технических систем [1] разработана конструкция консольного фрезерного шпиндельного узла (рис. 2) с двумя установленными с натягом радиально-упорными подшипниками в верхней опоре, причём центр жёсткости верхней опоры, которых максимально приближен к равнодействующей сил фрезерования.

Литература

1. Исаев В.Г., Серёгин Н.Г., Сорокин С.В. Комплексный расчётно-экспериментальный метод оценки надёжности технических систем летательных аппаратов // М.: Информационно-технологический вестник, 2018. № 4(18). С. 22-31.
2. Серёгин Н.Г. Анализ конструкции фрезерных шпинделей деревообрабатывающих станков // М.: Лесной вестник, 1999. № 4. С. 59-61.
3. Аврамова Т.М., Бушуев В.В., Гиловой Л.Я. и другие. Металлорежущие станки // М.: Машиностроение, 2012. 608 с.
4. Проников А.С. Надёжность машин // М.: Машиностроение, 1978. 590 с.
5. Серёгин Н.Г. Нагрузочно-имитирующие устройства испытательных стендов для исследования надёжности механизмов фрезерных станков // М.: Инженерный вестник, 2014. № 8. С. 33-39.
6. Шашурин В.Д., Ветрова Н.А., Назаров В.В., Серёгин Н.Г. Ускоренные испытания на надёжность технических систем // М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 45 с.
7. Гиясов Б.И., Серёгин Н.Г., Серёгин Д.Н., Беляков В.А. Стендовые ускоренные испытания технических систем на надёжность // М.: Издательство АСВ, 2017. 74 с.

УДК 629.7

Статистический контроль надежности электронных изделий ракетно-космической техники с использованием усеченных рисков

М.И. Макаров, доктор технических наук, профессор,
руководитель филиала АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,
директор «НИИ КС им. А.А. Максимова», г. Королев, Московская область,

В.Б. Рудаков, доктор технических наук, профессор,
советник руководителя филиала – директора НИИ КС,
г. Королев, Московская область,

В.М. Макаров, кандидат технических наук,
главный специалист департамента автоматических комплексов и систем
специального назначения Госкорпорации «Роскосмос», г. Москва,

В.А. Мироничев, начальник отдела Госкорпорации «Роскосмос», г. Москва

Приведена постановка задачи, решение которой обеспечивает рациональное планирование контроля надежности электронных изделий ракетно-космической техники (РКТ) на этапе отработки, требования к которым задаются либо в виде допустимых значений их интенсивностей отказов (например, электронные элементы и др.). Основой планирования является минимизация целевой функции экономических затрат на контроль и потерь, связанных с рисками принятия ошибочных решений при контроле заданных требований к надежности этих изделий. При этом, в отличие от существующих, целевая функция содержит усеченные априорные риски, использование которых позволяет учесть всю априорную накопленную информацию о надежности изделий. Минимизация этой целевой функции приводит к определению оптимального статистического плана контроля, который включает в себя оптимальное время испытаний изделий и оптимальные значения рисков 1 и 2 рода при приемочном числе равно нулю. Равенство нулю приемочного числа плана контроля объясняется высокими требованиями к надежности электронных изделий РКТ и планы контроля таких изделий не допускают ни одного отказа.

На основе результатов исследования свойств целевой функции разработан алгоритм ее минимизации.

Контроль, надежность, оптимизация, параметры, планирование, показатели, потери, риски 1 и 2 рода, требования, целевая функция, экономические затраты, электронное изделие РКТ.

Statistical control of reliability of electronic products of rocket and space technology using truncated risks

M.I. Makarov, Grand PhD in Engineering sciences, Prof., Director,
A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of FSUE Khrunichev
State Research and Production Space Center, Korolev, Moscow region,

V.B. Rudakov, Grand PhD in Engineering sciences, Prof.,
Advisor to the head of the branch – Director of the research Institute,

Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of FSUE Khrunichev
State Research and Production Space Center, Korolev, Moscow region,
V.M. Makarov, PhD in Engineering sciences, Chief specialist of the Department of
automatic systems and special purpose systems,
State Space Corporation ROSCOSMOS, Moscow,
V.A. Mironichev, Head of a Department,
State Space Corporation ROSCOSMOS, Moscow

The problem statement is given, the solution of which provides rational planning of control of reliability of electronic products of rocket and space technology at the stage of working off requirements to which are set in the form of admissible values of their intensities of failures (for example, electronic elements, etc.). The basis of planning is to minimize the target function of the economic costs for control and losses associated with the risks of making erroneous decisions in the control of the specified requirements for the reliability of these products. At the same time, unlike the existing ones, the target function contains truncated the a priori risks, the use of which allows to take into account all the a priori accumulated information about the reliability of products. Minimization of this target function leads to the determination of the optimal statistical control plan, which includes the optimal time of product testing and the optimal values of risks of 1 and 2 kinds with the acceptance number equal to zero. Equality to zero acceptance number of the control plan is explained by high requirements to reliability of electronic products of rocket and space technology. Control plans of such products do not allow any failure.

Based on the results of the study of the properties of the target function, an algorithm for its minimization is developed.

Control, reliability, optimization, parameters, planning, indicators, losses, risks of 1 and 2 kinds, requirements, target function, economic costs, electronic product of rocket and space technology.

В работах [1, 2], посвященных постановке и решению задачи рационального планирования контроля надежности изделий отмечалось, что к надежности целого ряда изделий требования предъявляются в виде допустимой интенсивности отказов $\lambda_{\text{ТР}}$ изделия. Эта характеристика является одной из важнейших характеристик надежности и именно для ряда электронных изделий РКТ является более информативной по сравнению с вероятностью безотказной работы изделия, для оценки которой необходимо знать закон распределения времени его безотказной работы и его характеристики.

К числу таких изделий относятся, прежде всего, электронная компонентная база РКТ и целый ряд электронных систем, построенных на этой базе: электронные подсистемы систем управления ракет-носителей и космических аппаратов с глубоким резервированием, самодиагностикой работоспособности и различного рода автоматическими логическими перестройками, которые обеспечивают выполнение возложенных задач. Для таких изделий в работах [1, 2] были разработаны математическая постановка задачи оптимального планирования контроля надежности и математические зависимости для определения рисков 1 и 2 рода,

связанные с принятием неправильных решений по результатам контроля надежности при отработке изделий. Постановка задачи оптимального планирования контроля надежности формулируется следующим образом: найти такое значение времени проведения испытаний изделия $t_u^* \geq 0$ и соответствующие ему значения рисков α^* и β^* , которые доставляют минимум целевой функции экономических затрат на контроль и потерь, связанных с принятием ошибочных решений, то есть найти

$$\min_{(t_u, \alpha, \beta)} C_\Sigma = \min_{(t_u, \alpha, \beta)} \left[C_{1\alpha} \alpha + C_{1\beta} \beta + C_{1k} t_u \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$\alpha = \int_0^{\lambda_{mp}} [1 - \exp(-\lambda t_u)] \cdot \frac{a(a\lambda)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp(-a\lambda) d\lambda \geq 0, \quad (2)$$

$$\beta = \int_{\lambda_{mp}}^{\infty} \exp(-\lambda t_u) \cdot \frac{a(a\lambda)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp(-a\lambda) d\lambda > 0, \quad (3)$$

$$t_u \geq 0, \quad (4)$$

где C_Σ – математическое ожидание затрат на контроль и потерь, связанных с принятием ошибочных решений; $C_{1\alpha}\alpha$, $C_{1\beta}\beta$ – математические ожидания потерь при контроле одного изделия; α – риск 1 рода или *безусловная вероятность* того, что изделие является годным (удовлетворяет заданным требованиям по надежности) и по результатам контроля будет забраковано; β – риск 2 рода или *безусловная вероятность* того, что изделие является дефектным (не удовлетворяет заданным требованиям по надежности) и будет принято для дальнейшего использования; C_{1k} – математическое ожидание затрат на контроль изделия в единицу времени; t_u – время проведения испытаний электронного изделия.

Такая постановка задачи соответствует следующей наиболее общей схеме контроля надежности изделия при отработке: проводятся испытания изделия в течение определенного времени t_u , по их результатам определяется характеристика λ – интенсивность отказов изделия. Далее, эта характеристика сравнивается с заданными требованиями, и если требования выполняются, то изделие принимается как годное, в противном случае изделие бракуется (проводится доработка изделия, повторный контроль и др.).

Результатом решения задачи (1)...(4) является оптимальный статистический план контроля надежности изделия РКТ (t_u^* , α^* , β^* , $c = 0$). Этот план соответствует минимуму экономических затрат на контроль и потерь, связанных с принятием ошибочных решений по результатам контроля надежности изделия. Он включает в себя: оптимальное время t_u^* проведения испытаний изделия; оптимальные риски 1 и 2 рода α^* , β^* ; приемочное число c (контрольный норма-

тив), которое равно нулю, $c = 0$.

Приведенная постановка задачи (1)...(4) входит в состав методов оптимального планирования контроля надежности: метода иерархического контроля надежности, метода иерархического контроля технических параметров изделий РКТ [3, 4, 5, 6], которые получили достаточно широкое распространение.

При этом в [2, 3, 4] были разработаны математические зависимости для определения рисков 1 и 2 рода, использование которых позволяет учесть на уровне вероятностей результаты контроля изделий нижних уровней иерархии при оптимальном планировании контроля изделий более высоких уровней.

Риски 1 и 2 рода (2) и (3) были получены с использованием теоретически обоснованного в [1, 2, 3] сопряженного априорного гамма-распределения

$$f(\lambda) = \frac{a(a\lambda)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp(-a\lambda),$$

схемы контроля надежности изделия, изложенной выше, и экспоненциального распределения времени его безотказной работы. Здесь $\Gamma(b)$ – полная гамма-функция или интеграл Эйлера второго рода, определяемый выражением при $x > 0$:

$$\Gamma(b) = \int_0^{\infty} x^{b-1} \exp(-x) dx,$$

табличные значения, которого можно найти, например, в [7, 8, 9].

Параметры гамма-распределения a и b определяются на основе априорной информации о надежности изделия, накопленной на предыдущих этапах, по формулам:

$$a = m[\lambda] / \sigma_{\hat{\lambda}}^2 = \frac{\hat{\lambda}}{\sigma_{\hat{\lambda}}^2} = t_{\Sigma}; \quad (5)$$

$$b = m^2[\lambda] / \sigma_{\hat{\lambda}}^2 = \frac{\hat{\lambda}^2}{\sigma_{\hat{\lambda}}^2} = m_{\Sigma}. \quad (6)$$

где m_{Σ} – количество отказов, наблюдаемых в течение суммарной наработки изделия t_{Σ} .

В работах [1, 2] показано, что выражения (5) и (6) можно использовать только в случае, когда предварительная накопленная информация о надежности электронного изделия РКТ является статистически *однородной*. В то же время реальная статистическая информация, получаемая в различное время, как правило, является статистически *неоднородной*. Это обстоятельство влечет за собой необходимость использования специальных моделей объединения неоднородных статистических данных, которые изложены в [3, 4]. При этом в общем случае, параметры a и b могут быть нецелочисленными.

Таким образом, выражения (2) и (3) для определения рисков 1 и 2 рода учитывают накопленную априорную информацию о надежности изделия *только через параметры* гамма-распределения, поскольку областью возможных значений показателя надежности λ изделия РКТ является $0 < \lambda < \infty$. Такая область определе-

ния представляет собой наиболее общий случай и ограничивает возможности практического применения разработанных методов.

В тоже время практика отработки показывает, что изделия РКТ, используемые в настоящее, обладают высокой степенью преемственности, зачастую полностью заимствованы из ранее выполненных проектов. По ним накоплена достаточная априорная статистическая информация, которая относится либо к изделиям в целом, либо к входящим в их состав элементам. С учетом указанных обстоятельств конкретизируем границы области возможных значений показателя надежности λ в формулах (2) и (3) для определения рисков, как это было сделано в [2]. Это позволит учесть априорную информацию о надежности изделий не только через параметры гамма-распределения, но и непосредственно на уровне рисков 1 и 2 рода, что значительно расширит область практического применения разработанных методов. При этом заметим, что математическое ожидание случайной величины λ , которая трактуется в байесовском смысле и имеет априорную плотность гамма-распределения

$$f(\lambda) = \frac{a(a\lambda)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp(-a\lambda), \quad (7)$$

определяется по известной формуле [3, 4]:

$$m[\lambda] = b/a. \quad (8)$$

Итак, рассмотрим формулы (2) и (3) для определения рисков 1 и 2 рода и конкретизируем границы области возможных значений показателя надежности λ изделий РКТ с учетом априорной информации. Как было сделано в [2], проведем следующие рассуждения.

Запишем заданные требования к этому показателю в следующем виде:

$$\lambda_1 < \lambda_{mp} < \lambda_2, \quad (9)$$

где: λ_1 и λ_2 – границы области возможных значений показателя λ .

Тогда значения λ_1 и λ_2 могут быть определены по априорной информации о показателе надежности λ с использованием априорной плотности (7) гамма-распределения следующим образом.

Представим, гипотетически, некоторое множество одинаковых изделий РКТ (гипотетическая генеральная совокупность), которое условно разделим на два подмножества:

- подмножество изделий, удовлетворяющих требованию λ_{mp} (годное подмножество);
- подмножество изделий, не удовлетворяющих требованию λ_{mp} (дефектное подмножество).

Тогда в качестве границ λ_1 , λ_2 могут быть приняты их оценки, выраженные через математические ожидания показателя надежности λ изделий, соответственно, первого и второго подмножества.

Механизм перехода априорного гамма-распределения от области определения $0 < \lambda < \infty$, к области $\lambda_1 < \lambda_{mp} < \lambda_2$, связан с усечением априорной плотности распределения по этой области. То есть, распределение возможных значений показателя надежности в годном подмножестве $f_1(\lambda)$ является усеченным в области

определения $0 < \lambda_1 \leq \lambda_{mp}$, а распределение возможных значений в дефектном подмножестве $f_D(P)$ является усеченным в области определения $\lambda_{mp} < \lambda_2 < \infty$.

Используя известное правило [3,5,8] определения плотности распределения $f_y(x)$ усеченной непрерывной случайной величины X с интервалом усечения (a, b) , имеем:

$$f_y(x) = cf(x), \tag{10}$$

$$c = \frac{1}{\int_a^b f(x)dx}. \tag{11}$$

С учетом (10) и (11) получим выражения для определения $f_r(P)$ и $f_D(P)$:

$$f_r(\lambda) = \frac{f(\lambda)}{\int_0^{\lambda_{mp}} f(\lambda)d\lambda}, \tag{12}$$

$$f_D(\lambda) = \frac{f(\lambda)}{\int_{\lambda_{mp}}^{\infty} f(\lambda)d\lambda}, \tag{13}$$

Используя эти выражения, можно определить математические ожидания показателя надежности λ для годного и дефектного подмножества по известным формулам:

$$\lambda_1 = m[\lambda_1] = \int_0^{\lambda_{mp}} \lambda f_r(\lambda)d\lambda = \frac{\int_0^{\lambda_{mp}} \lambda f(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\lambda_{mp}} f(\lambda)d\lambda} \tag{14}$$

$$\lambda_2 = m[\lambda_2] = \int_{\lambda_{mp}}^{\infty} \lambda f_D(\lambda)d\lambda = \frac{\int_{\lambda_{mp}}^{\infty} \lambda f(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_{mp}}^{\infty} f(\lambda)d\lambda} \tag{15}$$

Получим математическое ожидание λ_1 с учетом вида априорной плотности гамма-распределения (7). Для этого подставим (7) в формулу (14)

$$\lambda_1 = \frac{\int_0^{\lambda_{mp}} \lambda f(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\lambda_{mp}} f(\lambda)d\lambda} = \frac{\int_0^{\lambda_{mp}} \frac{\lambda a(a\lambda)^{b-1} e^{-a\lambda}}{\Gamma(b)} d\lambda}{\int_0^{\lambda_{mp}} \frac{a(a\lambda)^{b-1} e^{-a\lambda}}{\Gamma(b)} d\lambda} \tag{16}$$

В выражении (16) рассмотрим интеграл, который находится в числителе. Для него проведем замену переменной λ на $z = a\lambda$, откуда $dz = a d\lambda$, и получим

$$\int_0^{\lambda_{mp}} \frac{\lambda a (a\lambda)^{b-1} e^{-a\lambda}}{\Gamma(b)} d\lambda = \int_0^{a\lambda_{mp}} \frac{z^b e^{-z} dz}{a\Gamma(b)} \quad (17)$$

Используем следующие свойства полной и неполной гамма-функции, соответственно, [3,8,9]:

$$\Gamma(b+1) = b\Gamma(b) \quad \text{и} \quad \Gamma(x, b+1) = \frac{1}{\Gamma(b+1)} \int_0^x x^b \cdot e^{-x} \cdot dx,$$

где $\Gamma(x, b+1)$ – неполная гамма-функция.

С учетом этого интеграл (17) преобразуется к виду:

$$\int_0^{a\lambda_{mp}} \frac{z^b e^{-z} dz}{a\Gamma(b)} = \frac{\Gamma(b+1)\Gamma(a\lambda_{mp}, b+1)}{a\Gamma(b)} = \frac{b}{a} \Gamma(a\lambda_{mp}, b+1) \quad (18)$$

Далее в формуле (16) рассмотрим интеграл, который находится в знаменателе, также проведем замену переменной λ на $z = a\lambda$ и воспользуемся тем же свойством неполной гамма-функции:

$$\begin{aligned} \int_0^{\lambda_{mp}} (\lambda) d\lambda &= \int_0^{\lambda_{mp}} \frac{a(a\lambda)^{b-1} e^{-a\lambda}}{\tilde{A}(b)} d\lambda = \int_0^{a\lambda_{mp}} \frac{az^{b-1} e^{-z} dz}{a\tilde{A}(b)} = \\ &= \frac{a\tilde{A}(b)}{a\tilde{A}(b)} \tilde{A}(a\lambda_{mp}, b) = \tilde{A}(a\lambda_{mp}, b). \end{aligned} \quad (19)$$

Теперь, подставив (18) и (19) в (16), окончательно получим выражение для определения математического ожидания показателя λ в годном подмножестве:

$$\lambda_1 = m[\lambda_1] = \int_0^{\lambda_{mp}} \lambda f_{\Gamma}(\lambda) d\lambda = \frac{b\Gamma(a\lambda_{mp}, b+1)}{a\Gamma(a\lambda_{mp}, b)} \quad (20)$$

Аналогичным образом можно найти математическое ожидание показателя λ в дефектном подмножестве, которое имеет следующий вид [2]:

$$\lambda_2 = m[\lambda_2] = \int_{\lambda_{mp}}^{\infty} \lambda f_{\Gamma}(\lambda) d\lambda = \lambda_2 = m_{\lambda_2} = \frac{b \cdot [\Gamma(b+1) - \Gamma(a\lambda_{mp}, b+1)]}{a \cdot [\Gamma(b) - \Gamma(a\lambda_{mp}, b)]} \quad (21)$$

Если сравнить полученные выражения (20) и (21) с выражением (8), которое определяет математическое ожидание исходного гамма-распределения (7), то видно, что усечение исходного распределения изменяет его математическое ожидание на величину соответствующих дробей, содержащих гамма-функции.

Следует заметить, что λ_1 и λ_2 являются переменными величинами, поскольку зависят от величины заданных требований к показателю надежности $\lambda_{тр}$ изделия РКТ и от параметров a и b , которые определяются наличием априорной информации. Но всегда выполняются неравенства: $0 < \lambda_1 \leq \lambda_{mp}$ и $\lambda_{mp} < \lambda_2 < \infty$.

Тогда с учетом (20), (21) математические зависимости для определения рисков 1 и 2 рода (2) и (3) при контроле показателей надежности изделий РКТ на этапе отработки будут определяться следующими формулами:

$$\alpha = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} [1 - \exp(-\lambda t_u)] \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda, \dots \dots \dots (22)$$

$$\beta = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \exp(-\lambda t_u) \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda, \dots \dots \dots (23)$$

где λ_1 и λ_2 соответствуют выражениям (20) и (21), а $f(\lambda)$ – априорная плотность (7) гамма-распределения показателя надежности изделия с параметрами a и b , определяемыми по формулам (5), (6) в случае однородной статистической информации о надежности, либо по моделям [3,4] в случае статистически неоднородной информации. При этом плотность распределения $f(\lambda)$ уже имеет в качестве области существования не интервал от 0 до ∞ , как это было для рисков 1 и 2 рода (2) и (3), а *усеченную область* $\lambda_1 < \lambda_{mp} < \lambda_2$. И в соответствии с известными свойствами плотности распределения случайной величины, интеграл от этой плотности в области усечения представляет собой вероятность наблюдать все возможные значения λ , поэтому этот интеграл равен единице, то есть

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f(\lambda) d\lambda = 1.$$

Риски (22) и (23) являются функциями заданных требований к надежности изделия λ_{mp} , размера области $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$, то есть математических ожиданий возможных значений показателя надежности λ , определяемых на основе априорной информации, параметров a и b априорного гамма-распределения этого показателя и времени t_u проведения испытаний электронного изделия РКТ при его отработке. При этом в зависимости от времени t_u проведения испытаний изделия эти риски должны изменяться в противоположных направлениях: с увеличением t_u риск α должен возрастать, а риск β должен убывать. Только при таких условиях функция вида (1), которая формирует математическую модель *априорного планирования* контроля надежности изделий РКТ и которая записана в постановке задачи (1)...(4), будет иметь минимум и ее можно рассматривать в качестве целевой функции для определения оптимальных планов контроля надежности. Поскольку выше получены усеченные риски 1 и 2 рода (22) и (23), важно показать, что они имеют такой же характер изменения, и при их практическом использовании функцию (1) также можно рассматривать в качестве целевой функции. Чтобы это показать представим полученные выражения (22) и (23) в следующем виде:

$$\alpha = F_1(t_u) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} f_1(\lambda, t_u) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} [1 - \exp(-\lambda t_u)] \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda, \dots \dots \dots (24)$$

$$\beta = F_2(t_u) = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} f_2(\lambda, t_u) d\lambda = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \exp(-\lambda t_u) \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda, \dots \dots \dots (25)$$

Из математического анализа [10] известно, что для определенного интеграла

$$\int_a^b f(x, y) dx = F(y),$$

если функция $F(y)$ определена на интервале $c \leq y \leq e$ и функция $f(x, y)$ непрерывна в прямоугольнике $a \leq x \leq b, c \leq y \leq e$ и имеет в этой области частную производную $\frac{\partial f}{\partial y}$, то при любом y на интервале $[c, e]$ имеет место формула

$$\frac{d}{dy} \int_a^b f(x, y) dx = \int_a^b \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} dx.$$

(дифференцирование под знаком определенного интеграла).

Выше говорилось о том, что λ_1 и λ_2 являются переменными величинами. Их конкретные значения зависят от величины заданных требований к показателю надежности $\lambda_{тр}$ изделия РКТ и от параметров a и b , которые определяются имеющейся в наличии априорной информацией. Но при этом всегда выполняются неравенства: $0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_{тр}$ и $0 \leq \lambda_{тр} \leq \lambda_2 < \infty$. Поэтому для проведения дальнейших рассуждений будем иметь в виду указанные интервалы изменения величин λ_1 и λ_2 .

Теперь рассмотрим выражения (24) и (25). Функции $\alpha = F_1(t_u)$ и $\beta = F_2(t_u)$ определены в интервале $0 \leq \frac{1}{\lambda_2} \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} < \infty$; функции $f_1(\lambda, t_u)$ и $f_2(\lambda, t_u)$ непрерывны в прямоугольниках:

$$0 \leq \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_{mp}, \quad 0 \leq \frac{1}{\lambda_2} \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} < \infty; \quad 0 \leq \lambda_{mp} \leq \lambda \leq \lambda_2 < \infty,$$

$$0 \leq \frac{1}{\lambda_2} \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} < \infty$$

и имеют в этих областях частные производные $\frac{\partial f_1}{\partial t_u}$ и $\frac{\partial f_2}{\partial t_u}$. Тогда при лю-

бом t_u в интервале $0 \leq \frac{1}{\lambda_2} \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} < \infty$ имеют место формулы:

$$\frac{d}{dt_u} \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} f_1(\lambda, t_u) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} \frac{\partial f_1(\lambda, t_u)}{\partial t_u} d\lambda,$$

$$\frac{d}{dt_u} \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} f_2(\lambda, t_u) d\lambda = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \frac{\partial f_2(\lambda, t_u)}{\partial t_u} d\lambda .$$

Воспользуемся этими выражениями для определения производных от функций (24) и (25) по времени испытаний при отработке изделия, получим:

$$\alpha'_{t_u} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} \frac{\partial f_1(\lambda, t_u)}{\partial t_u} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} \lambda e^{-\lambda t_u} f(\lambda) d\lambda > 0, \dots\dots\dots (26)$$

$$\beta'_{t_u} = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \frac{\partial f_2(\lambda, t_u)}{\partial t_u} d\lambda = - \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \lambda e^{-\lambda t_u} f(\lambda) d\lambda < 0, \dots\dots\dots (27)$$

где $0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_{тр}$ и $0 \leq \lambda_{тр} \leq \lambda_2 < \infty$.

В дифференциальном исчислении, например [10], существует известная теорема, которая говорит о том, что если функция $f(x)$ задана в некоторой области и имеет производную во всех внутренних точках этой области, то необходимым и достаточным условием монотонности функции в области задания является:

для монотонно возрастающей функции $f'(x) \geq 0$;

для монотонно убывающей функции $f'(x) \leq 0$.

Рассматривая выражения (26) и (27) для производных от рисков 1 и 2 рода по времени t_u испытаний изделия при отработке, на основании изложенной теоремы можно сделать вывод о том, что риск α в функции от времени t_u является монотонно возрастающей функцией в интервале $0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_{тр} < \infty$, а риск β является монотонно убывающей функцией времени t_u в интервале $0 \leq \lambda_{тр} \leq \lambda_2 < \infty$.

Полученные результаты можно подтвердить и другим способом, который был рассмотрен в [2].

Величина t_u , входящая в функцию потерь, представляет собой время проведения испытаний изделия РКТ при отработке. Эта величина является единственным переменным аргументом функций рисков α и β . Поэтому целесообразно исследовать полученные функции рисков 1 и 2 рода в зависимости от изменения аргумента t_u при крайних условиях, когда этот аргумент стремится к нулю и к бесконечности, то есть при $t_u \rightarrow 0$ и $t_u \rightarrow \infty$. Воспользуемся теорией вычисления пределов функций, как это было сделано в [2].

Найдем пределы функций усеченных рисков (22) и (23), учитывая, что показатель надежности электронного изделия РКТ $\lambda \ll 1$. В результате получим:

$$1) \lim_{t_u \rightarrow 0} \alpha = \lim_{t_u \rightarrow 0} \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} [1 - \exp(-\lambda t_u)] \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda = 0, \dots\dots\dots (28)$$

$$\lim_{t_u \rightarrow 0} \beta = \lim_{t_u \rightarrow 0} \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \exp(-\lambda t_u) \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} f(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$2) \lim_{t_u \rightarrow \infty} \alpha = \lim_{t_u \rightarrow \infty} \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} [1 - \exp(-\lambda t_u)] \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} f(\lambda) d\lambda, \dots \dots (29)$$

$$\lim_{t_u \rightarrow \infty} \beta = \lim_{t_u \rightarrow \infty} \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \exp(-\lambda t_u) \cdot f(\lambda) \cdot d\lambda = 0.$$

Из полученных выражений видно следующее.

1) При $t_u \rightarrow 0$:

риск 1 рода α становится равным нулю. Этот результат совпадает с результатом, который получен в работах [3, 4-6] для не усеченных рисков;

риск 2 рода β совпадает с вероятностью того, что изделие является дефектным (т.е. не удовлетворяет заданным требованиям по надежности); причем,

величина этой вероятности есть $\int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} f(\lambda) \cdot d\lambda$, и она определяется априорной

накопленной статистической информацией о надежности изделия, а также величиной заданных требований λ_{mp} .

Эти результаты совпадают со свойствами, выявленными в [3, 4] для не усеченных рисков.

2) При $t_u \rightarrow \infty$:

риск 2 рода β становится равным нулю;

риск 1 рода α совпадает с вероятностью того, что изделие является годным (т.е. удовлетворяет заданным требованиям по надежности); причем, величина

этой вероятности есть $\int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} f(\lambda) \cdot d\lambda$, и она также определяется накопленной ста-

тистической информацией о надежности изделия (в том числе и результатами гипотетически бесконечных испытаний), а также величиной заданных требований λ_{mp} .

Заметим для проверки, что поскольку $f(\lambda)$ представляет собой плотность гамма-распределения (7) и имеет в качестве области существования усеченную область от λ_1 до λ_2 (см. выше), то, очевидно, что

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} f(\lambda) \cdot d\lambda + \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} f(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f(\lambda) \cdot d\lambda = 1.$$

Таким образом, полученные результаты также подтверждают противоположный характер изменения рисков 1 и 2 рода при увеличении времени t_u проведения испытаний электронного изделия РКТ при отработке.

То есть, функцию потерь, которая записана в математической модели и постановке задачи (1)...(4) априорного планирования оптимального контроля надежности изделий РКТ, можно рассматривать в качестве целевой функции для определения оптимального плана контроля надежности.

Учитывая полученные результаты, постановку задачи планирования оптимального контроля показателя надёжности λ электронного изделия можно сформулировать следующим образом: найти такое значение $t_u^* \geq 0$ и соответствующие ему значения усеченных рисков α^* и β^* , которые доставляют минимум целевой функции экономических затрат на контроль и потерь, связанных с принятием ошибочных решений.

С учетом полученных выражений (22) и (23) и проведенных исследований характера изменения рисков 1 и 2 рода математическую постановку задачи (1)...(4) можно записать в следующем виде

найти

$$\min_{t_u, \alpha, \beta} C_{\Sigma} = \min_{t_u, \alpha, \beta} \left[C_1 \alpha + C_1 \beta + C_1 k t_u \right] \dots \dots \dots (30)$$

где

$$\alpha = \int_{\lambda_1}^{\lambda_{mp}} [1 - \exp(-\lambda t_u)] \cdot \frac{a(a\lambda)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp(-a\lambda) d\lambda, \quad (31)$$

$$\beta = \int_{\lambda_{mp}}^{\lambda_2} \exp(-\lambda t_u) \cdot \frac{a(a\lambda)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp(-a\lambda) d\lambda, \quad (32)$$

$$\lambda_1 = \frac{b\Gamma(a\lambda_{mp}, b+1)}{a\Gamma(a\lambda_{mp}, b)} \quad (33)$$

$$\lambda_2 = \frac{b \cdot [\Gamma(b+1) - \Gamma(a\lambda_{mp}, b+1)]}{a \cdot [\Gamma(b) - \Gamma(a\lambda_{mp}, b)]} \quad (34)$$

$$\text{в области } t_u \geq 0, \quad \alpha \geq 0, \quad \beta > 0. \quad (35)$$

Поскольку время t_u испытаний изделия при отработке не может быть бесконечно большим, целесообразно рассматривать его, как это было сделано выше, при следующем ограничении $0 \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} = T_1 < \infty$; где T_1 имеет смысл математического ожидания наработки на отказ (наработки на отказ изделия годного подмножества).

К сожалению, аналитически определить минимум целевой функции $C_{\Sigma} = C_{\Sigma}^*$, соответствующий оптимальному значению $t_u = t_u^*$, не удастся, что связано с наличием многих параметров и сложных связей между ними. Однако данную задачу можно решить численно, устанавливая шаг Δt увеличения времени испытания

$$\text{изделия в интервале } 0 \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} = T_1.$$

Для этого рассмотрим целевую функцию и определим условия, необходимые для существования ее минимума. Поскольку функция является выпуклой (риски 1 и 2 рода монотонно изменяются в противоположных направлениях), то

очевидно, что в любой точке интервала $0 \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} = T_1$ она должна иметь хотя

бы одно значение меньше, чем ее значение в точках $t_u = 0$ и $t_u = T_1$. Поэтому сначала следует определить значения функции в этих точках. Затем определить значения функции в точке, близкой к $t_u = 0$ и в точке, близкой к $t_u = T_1$, например, в точке $t_u = 0 + \Delta t_u$, $C_\Sigma(\Delta t_u)$, и в точке $t_u = T_1 - \Delta t_u$, $C_\Sigma(T_1 - \Delta t_u)$. Если при этом будет выполняться система неравенств

$$\begin{aligned} C_\Sigma(0) > C_\Sigma(\Delta t_u), \\ C_\Sigma(T_1 - \Delta t_u) < C_\Sigma(\Delta t_u), \end{aligned} \quad (36)$$

то функция (30) имеет минимум внутри интервала $0 \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} = T_1$. То

есть, выполнение неравенств (36) является необходимым условием существования минимума целевой функции (30), а поскольку риски 1 и 2 рода монотонно изменяются в противоположных направлениях, то это условие является и достаточным условием.

Если (36) не выполняется, то существует два исхода:

1. Если целевая функция является возрастающей, потери и затраты на контроль увеличиваются, то проводить контроль надежности изделия нецелесообразно (необходим жесткий контроль производства изделия).

2. Если целевая функция является убывающей, потери и затраты на контроль уменьшаются, то целесообразен контроль надежности изделия в течение всего времени наработки, т.е. $t_u = T_1$.

Предположим, что система неравенств (36) выполняется и внутри интервала $0 \leq t_u \leq \frac{1}{\lambda_1} = T_1$ существует минимум функции (30). Тогда можно найти значение этого минимума C_Σ^* и соответствующее ему оптимальное значение $t_u = t_u^*$.

Алгоритм поиска минимума функции (30) можно представить в виде следующей последовательности действий:

1. Устанавливается шаг Δt_u увеличения времени испытаний (исходя из практических соображений).

2. С использованием исходных данных λ_{mp} , a , b , $C_{1\alpha}$, $C_{1\beta}$ и $C_{1\kappa}$ (формулы для определения экономических составляющих разработаны в [3, 4]) определяются значения λ_1 , λ_2 , а также значения рисков α и β .

3. Далее вычисляются значения C_Σ по (30) сначала для моментов времени $t_u = 0$ и $t_u = T_1$, а затем для $t_u = 0 + \Delta t_u$ и $t_u = T_1 - \Delta t_u$.

4. Проверяется выполнение системы неравенств (36).

5. При выполнении системы неравенств осуществляется поиск минимального значения целевой функции $C_\Sigma = C_\Sigma^*$, соответствующего оптимальному значению $t_u = t_u^*$ следующим образом:

5.1. По исходным данным λ_{mp} , λ_1 , λ_2 , a , b с использованием выражений

(31) и (32) последовательно для каждого момента времени $t_u = \Delta t_u$; $t_u = 2\Delta t_u$; ... ; $t_u = n\Delta t_u$; $n=1, \dots, k$, определяются значения рисков $\alpha (n\Delta t_u)$, $\beta (n\Delta t_u)$ и соответствующие значения целевой функции C_Σ . Вычисления проводятся до тех пор, пока значения целевой функции не начнут возрастать.

5.2. Среди всех полученных значений C_Σ выбирается минимальное $C_\Sigma = C_\Sigma^*$, соответствующее оптимальному значению времени испытаний изделия при обработке $t_u = t_u^*$.

5.3. С учетом полученного значения $t_u = t_u^*$ по формулам (31) и (32) определяются оптимальные риски α^* и β^* .

Полученный в результате решения задачи (30)...(35) статистический план контроля $(t_u^*, \alpha^*, \beta^*, c = 0)$ электронного изделия РКТ будет оптимальным с точки зрения обеспечения минимума всех возможных потерь и затрат на контроль надежности, а практическое использование таких планов позволит: обеспечить выполнение заданных требований к надежности электронных изделий РКТ; сократить объемы их наземной обработки за счет использования усеченных рисков, позволяющих учесть всю априорную накопленную информацию о надежности изделий, и, в целом, сократить экономические потери, связанные с принятием ошибочных решений и затраты на проведение обработки.

Литература

1. Макаров М.И., Рудаков В.Б., Макаров В.М. Риски принятия ошибочных решений в задаче рационального планирования контроля надежности электронных изделий ракетно-космической техники // Двойные технологии, 2017. № 4.
2. Макаров М.И., Рудаков В.Б., Макаров В.М., Мироничев В.А. Рациональное планирование контроля надежности элементов и бортовых систем космических аппаратов на этапе наземной обработки // Двойные технологии, 2018. № 4.
3. Волков Л.И., Рудаков В.Б. Статистический контроль иерархических систем // М.: СИП РИА, 2002. 355 с.
4. Меньшиков В.А., Рудаков В.Б., Сычев В.Н. Контроль качества космических аппаратов при обработке и производстве // М.: Машиностроение, 2009. 400 с.
5. Макаров М.И., Рудаков В.Б. и др. Алгоритм иерархического контроля изделий ракетно-космической техники при наземной обработке // Стратегическая стабильность, 2013. № 2. С. 63-67.
6. Макаров М.И., Рудаков В.Б. и др. Апостериорные риски при планировании наземной обработки ракетно-космической техники // Двойные технологии, 2013. № 3. С. 31-34.
7. Анга А. Математика для электро- и радиоинженеров. Пер. с франц. // М.: Наука, 1967. 779 с.
8. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности // М.: Сов. Радио, 1962. 551 с.
9. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики // М.: Наука, 1983. 416 с.
10. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике // М.: Физматгиз, 1959. 608 с.
11. Беляев Ю.К. Вероятностные методы выборочного контроля // М.: Наука, 1975. 406 с.

УДК 629.7.047.2

**Обзор статистики авиационных происшествий
лёгких летательных аппаратов.
Пути повышения выживаемости членов экипажей
лёгких летательных аппаратов в аварийных ситуациях**

С.М. Молчанов, начальник отдела,
Д.В. Усачёв, старший инженер-испытатель,
М.В. Сосунов, кандидат технических наук, начальник отделения,
Войсковая часть 15650-16, г. Щёлково-4, Московская область

В статье рассматриваются причины возникновения аварийных ситуаций на лёгких летательных аппаратах типа Як-52, их исходы. Кратко рассматриваются перспективные средства спасения членов экипажей лёгких летательных аппаратов.

Статистика, аварийная ситуация, катастрофа, средство спасения, эффективность.

**Review of statistics of aircraft accidents of light aircraft.
Ways to increase the survival of members of crews of light aircraft
in emergency situations**

S.M. Molchanov, department head,
D.V. Usachov, test engineer,
M.V. Sosunov, Ph.D (Tech.), department director,
Army part 15650-16, Shchelkovo-4, Moscow region

The article discusses the causes of emergencies on light aircraft such as the Yak-52, their outcomes. Briefly discusses promising means of rescue crew members of light aircraft.

Statistics, emergency situation, catastrophe, rescue tool, efficiency.

Обучение и подготовка лётного состава Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ) является достаточно длительным и дорогостоящим процессом, требующим привлечения значительных человеческих и материально-технических ресурсов. Процесс подготовки лётчика включает в себя широкий комплекс теоретической и, главное, практической подготовки.

В летных училищах РФ основными самолетами первоначального обучения лётного состава в настоящее время являются самолеты типа Л-39 и Як-130. Однако опыт показывает, что первоначальное обучение лётчика целесообразно производить на самолетах более простой конструкции и более простых в управлении, например, таких как легкие самолеты. Следует отметить, что в СССР многие будущие военные лётчики проходили первоначальную подготовку в детско-юношеской организации «ДОСААФ», эксплуатирующей в своем парке легкие

самолеты, дельтапланы и дельталёты.

С 2014 г. в РФ проводится опытно-конструкторская работа (ОКР) по созданию основного самолёта первоначальной подготовки лётного состава – самолёта Як-152. Кроме того, в настоящее время проводятся работы по созданию самолёта первоначального обучения лётчиков военно-транспортной авиации на базе иностранного лёгкого самолёта DA-42T.

Однако, говоря о таких ЛА как лёгкие самолёты, следует отметить тот факт, что на данных типах ЛА дела со спасением экипажа обстоят наиболее неблагоприятно, где количество катастроф значительно превышает их количество в боевой авиации. Это является следствием того, что на данных ЛА отсутствуют эффективные средства спасения экипажей.

Изучение исходов авиационных происшествий не только позволяет выявить причины авиационных происшествий (АП) и принять меры по их уменьшению, но и дает ценную информацию о реальных возможностях средств спасения экипажа в АС.

При анализе статистики АП лёгких самолетов использовались данные ОАО «ОКБ им. А.С.Яковлева» по АП самолётов типа Як-52. Были рассмотрены 116 АП.

Статистика авиационных происшествий представлена в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Статистика авиационных происшествий самолетов Як-52

Количество АП	Причины АП, количество/%		Исход АП, количество /%		Высота (режим) возникновения АС, количество /%		
	отказ техники	человеческий фактор	авария	катастрофа	взлёт, посадка, $H_{пр.мал}$	$H_{мал.}$	$H_{ср.}$
116	30/26,0	86/74,0	36/31,1	80/68,9	24 [*] / 23,8 [*]	51 [*] / 50,5 [*]	26 [*] / 25,7 [*]
* – из проанализированных 116 случаев АП, данные по высотам возникновения АС имелись только в 101 случае.							

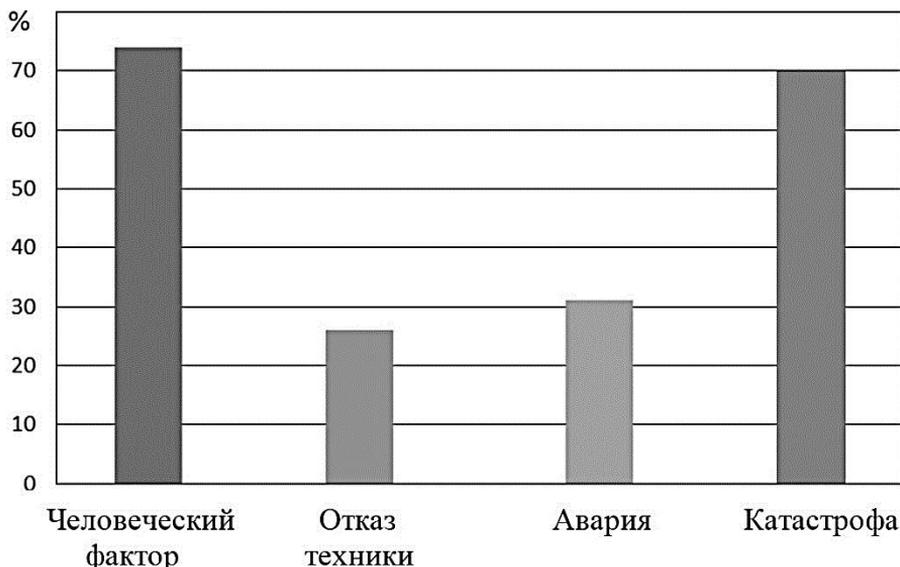


Рисунок 1 – Распределение авиационных происшествий самолетов Як-52 по причинам возникновения и исходам

Результаты анализа статистики показывают, что причинами значительной части АП явились человеческий фактор (нарушения техники пилотирования) и отказы АТ (конструктивно-производственные недостатки, нарушение правил обслуживания инженерно-техническим составом (ИТС)).

Большинство АП (74 %) произошло по вине лётного состава, из них 75% закончились катастрофой (рис. 1). Из-за конструктивно-производственных недостатков и по вине ИТС произошло 26% АП. При этом доля катастроф составила 50% (рис. 2).

При возникновении АС по вине человека авиационное происшествие заканчивается катастрофой в подавляющем большинстве случаев. При возникновении АС по причине отказа техника доля катастроф и аварий распределяется примерно поровну.

Распределение АП по высотам возникновения АС представлено на рисунках 3 и 4.

Более половины всех АП приходится на маловысотные полеты.

П р и м е ч а н и е – Под малыми высотами ($H_{\text{мал.}}$) подразумеваются высоты от 100 до 1000 м, под предельно малыми ($H_{\text{пр.мал.}}$) – высоты до 100 м, включая режимы взлета и посадки, под средними ($H_{\text{ср.}}$) – высоты от 1000 м.

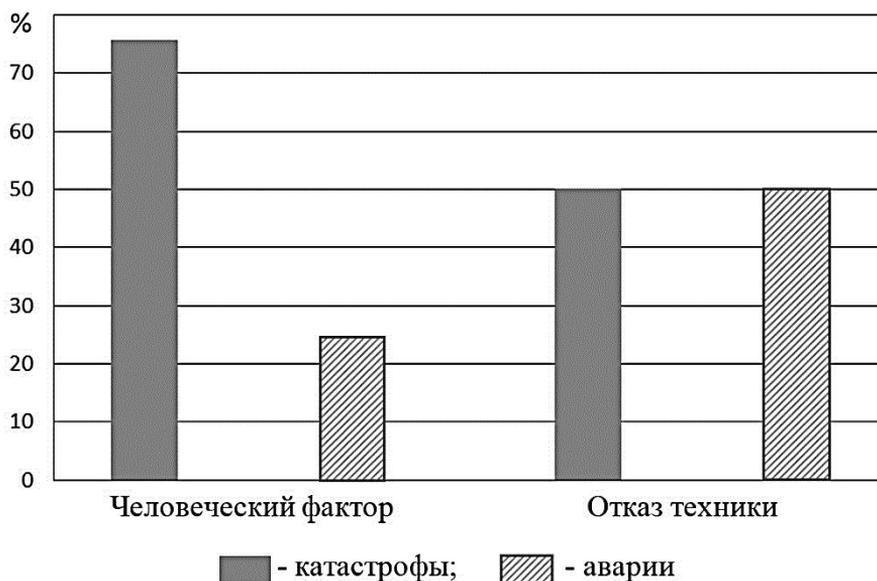


Рисунок 2 – Исходы авиационных происшествий самолетов Як-52 в зависимости от причины возникновения аварийной ситуации

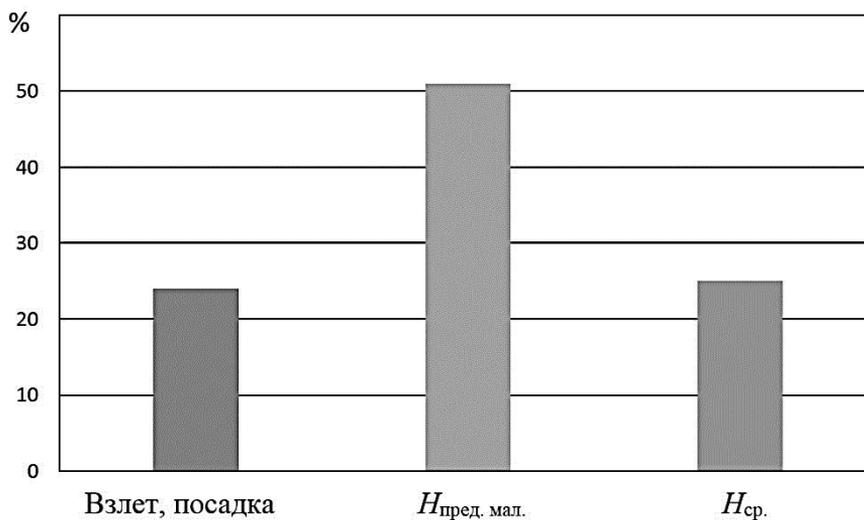


Рисунок 3 – Распределение авиационных происшествий самолетов Як-52 по высотам (режимам) полета

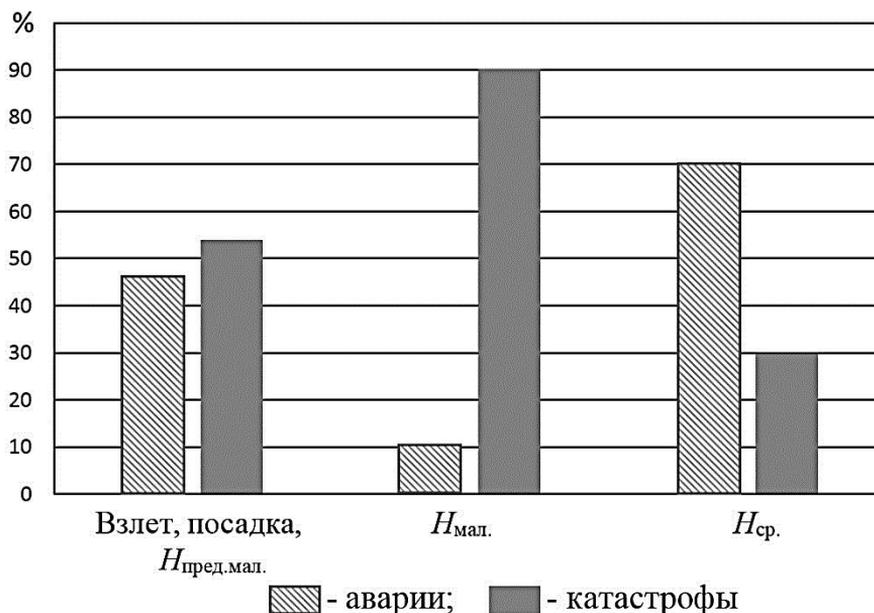


Рисунок 4 – Итоги авиационных происшествий самолетов Як-52 в зависимости от высоты (режима) полета при возникновении аварийной ситуации

В этих условиях вероятность использования индивидуальных спасательных парашютов мала (табл. 2, рис. 5), ввиду необходимости наличия достаточного запаса времени и сложности их применения.

Таблица 2 – Статистика по применению парашютов экипажами самолетов Як-52 при возникновении аварийной ситуации

Исход аварийной ситуации	Количество самолетов, %	Количество членов экипажей	
		спаслось, %	погибло, %
Падение, аварийная посадка	90,5	80,0	20,0
Покидание с парашютом	9,5	90,9	9,1

Данные анализа АП показывают, что большинство экипажей лёгких ЛА в этих условиях стремятся по возможности совершить вынужденную посадку. При этом, в среднем до 70% из всех АП заканчиваются катастрофой.

Подавляющее большинство АП заканчиваются катастрофами при возникновении АС на малых высотах, на которых для применения спасательного индивидуального парашюта бывает недостаточно времени.

Тем не менее, даже при достаточном запасе высоты (при возникновении АС на средних высотах), когда имеется возможность применения индивидуального спасательного парашюта, около 30% АП заканчиваются катастрофами.

Этот факт может быть объяснен психологическим состоянием лётчиков, возникающим в момент АС, вызванным стремлением исправить ситуацию, пониманием длительности на фоне быстрой потери высоты процесса применения ин-

дивидуального спасательного парашюта, стремлением посадить аварийный самолет.

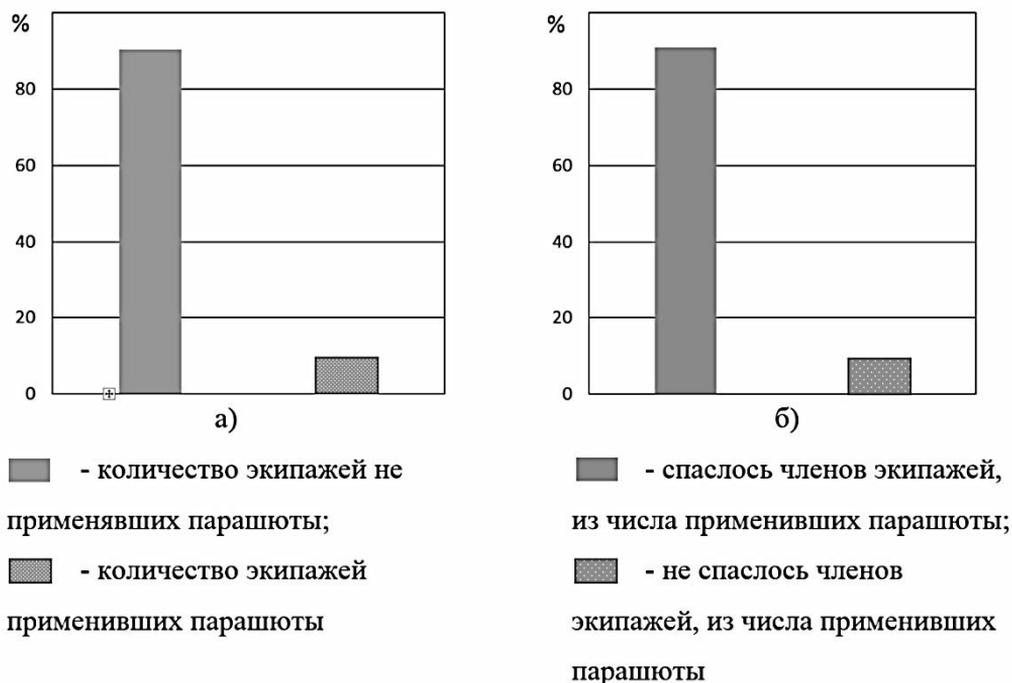


Рисунок 5 – Статистика по применению парашютов экипажами самолетов Як-52 при возникновении аварийной ситуации

Таким образом, как показывает статистика АП, при эксплуатации ЛА всегда может возникнуть ситуация, требующая немедленно покинуть самолет, но у лётчика при этом не хватает времени на применение спасательного парашюта. В этом случае обеспечить покидание самолета могли бы средства принудительного аварийного покидания. Но все современные катапультные установки (КУ), применяемые на боевых ЛА, обладают значительной массой (более 80 кг). По этой и другим причинам применение КУ на лёгких и сверхлёгких ЛА не представляется возможным.

Для повышения эффективности спасения экипажей легких самолетов была разработана система СКС-94. Ее модификации СКС-94М и СКС-94М2 в период с 2004 по 2005 г. прошли с положительными результатами государственные испытания и были рекомендованы к установке на самолетах Су-26М3 и Як-52М соответственно.

Одной из отличительных особенностей СКС является ее небольшая масса от 24 до 28 кг (в зависимости от модификации).

СКС, в сочетании с другими системами, применяемыми в комплексах средств аварийного покидания ЛА (системой образования аварийного выхода, системой управления катапультированием), обеспечивает безопасное аварийное покидание самолета в диапазоне скоростей полета от 70 до 400 км/ч и высот ката-

пультирования от 10 до 4000 м.

И все-таки, применение средств спасения типа СКС-94 не решает вопросов по спасению членов экипажей и пассажиров дельталётов и лёгких самолетов, установка данных систем на которые конструктивно невозможна.

Одним из вариантов средством спасения легких самолетов могли бы стать отделяемые кабины, но их создание требует значительных экономических затрат, конструктивных изменений для существующих самолетов, проведение дополнительных опытно-конструкторских работ по созданию новых самолетов и т.д. Кроме того, геометрические размеры отделяемых кабин легких самолетов будут сопоставимы с размерами самого самолета без хвостового оперения и крыльев. А на дельталётах установка отделяемых кабин невозможна и нецелесообразна по конструктивным соображениям.

Другим средством спасения экипажа для лёгких и сверхлёгких ЛА могут быть системы коллективного спасения экипажей. Принцип работы СКСЭ основан на спасении экипажа вместе с ЛА путем введения в поток спасательного парашюта пиротехнической или пневматической системой и снижении самолета с экипажем на парашютной системе.

Так, например, для спасения экипажа дельталёта МД-20ДИ ОАО «Фирма «МВЕН»» была разработана СКСЭ ССЭ-МД-20Д.

Данная система впервые в нашей стране проходила государственные испытания в 2006 г. Испытания проводились методом натурального моделирования в лётных условиях со сбросами дельталёта с манекенами с внешней подвески вертолета Ми-8.

В процессе экспериментов дельталёт после сброса до момента срабатывания системы спасения занимал хаотичное положение в пространстве.

Падение дельталёта в экспериментах происходило в различном положении: в перевернутом состоянии, с большими углами пикирования и крена и т.д. В одном из экспериментов после сброса произошел «кувырок» дельталёта, при этом произошло разрушение силовых элементов конструкции крыла. И, тем не менее, после срабатывания системы спасения обеспечивалось введение спасательного парашюта, наполнение купола парашюта и снижение дельталёта на парашютной системе.

СКСЭ также может устанавливаться на различных типах лёгких и сверхлёгких ЛА. Применение систем коллективного спасения экипажа на самолетах самостоятельно или в сочетании с СКС (например, на Як-52М или Су-26М) позволит повысить эффективность спасения экипажа и ЛА в аварийной ситуации.

В пользу применения систем коллективного спасения говорят следующие аргументы:

- обеспечивается значительное сокращение времени применения СКСЭ по сравнению с суммарным временем покидания экипажем ЛА с помощью индивидуальных парашютов;
- при применении СКСЭ из схемы спасения исключается этап выхода и отделения людей от самолета, что уменьшает время и минимальную высоту применения системы;

- при применении СКСЭ обеспечиваются более безопасные для экипажа условия при введении системы в действие, снижении и приземлении ЛА, т.к. они не покидают борт ЛА;

- повреждения ЛА после применения системы могут или отсутствовать, или быть минимальными, что позволит осуществлять дальнейшую эксплуатацию ЛА после соответствующего ремонта. Кроме того, материальный ущерб, в случае приземления ЛА на какие-либо движимые или недвижимые объекты также может быть минимальным, т.к. ЛА не совершает бесконтрольное падение со скоростью свободного падения.

Выводы

1. Подавляющее большинство АП с лёгкими и сверхлёгкими ЛА приходится на маловысотные полеты.

2. В среднем около 70 % из всех АП заканчиваются катастрофой. Менее 10 % АП заканчиваются применением индивидуальных спасательных парашютов.

3. Основным средством спасения экипажа на лёгких и сверхлёгких ЛА на сегодняшний день является индивидуальные спасательные парашюты. Однако их применение носит ограниченный характер по причине необходимости наличия достаточного запаса высоты и времени для их применения.

4. Для обеспечения спасения экипажей лёгких ЛА необходимо применение более интенсифицированных средств спасения, таких как СПАП (на базе СКС) или СКСЭ, с учетом конструктивных особенностей ЛА и возможности установки данных средств спасения на ЛА.

Литература

1. Молчанов С.М., Сосунов М.В. и др. Исследования по разработке методологии испытаний систем коллективного спасения экипажей легких и сверхлегких летательных аппаратов // Войсковая часть 15650-16, 2018 г. 195 с.

УДК 004.4

Однофакторный дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса в табличном редакторе MS EXCEL

Н.М. Антипина, кандидат педагогических наук,
зав. кафедрой «Прикладная математика и информатика»,
В.Н. Захаров, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Прикладная математика и информатика»,
Ю.М. Протасов, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Прикладная математика и информатика»,
Московский государственный областной университет, г. Москва

В статье рассмотрены математическая постановка задачи, алгоритм, программа и два примера расчета непараметрического критерия H Краскела-Уоллиса. Выполнение исследований, компьютерное моделирование и расчеты выполнялись с использованием MS EXCEL и языка программирования VBA. Авторы разработали математическую постановку задачи, алгоритм и программу на языке программирования VBA. Проверка правильности результатов проведена ручным счетом «в две руки». Программа может быть использована для автоматической обработки данных при вычислении непараметрических статистик с использованием методов математической статистики, для которых отсутствуют соответствующие программы и функции в MS Excel. Собственная разработка и наличие исходного текста программы позволяет использовать ее в исследованиях, а также включить в пакет программ обработки данных.

Методы математической статистики, распределение генеральной совокупности, нормальное распределение, непараметрический критерий.

One-factor dispersion analysis of Paint-Wallis in table editor MS EXCEL

N.M. Antipina, Ph.D., Head of Department,
Department of Applied Mathematics and Computer Science,
V.N. Zakharov, Ph.D., Associate Professor,
Department of Applied Mathematics and Computer Science,
Y.M. Protasov, Ph.D., Associate Professor,
Department of Applied Mathematics and Computer Science,
Moscow State Regional University, Moscow

The article discusses the mathematical formulation of the problem, an algorithm, a program, and two examples of calculating the non-parametric criterion H of Kruskal-Wallis. Research, computer modeling and calculations were performed using MS EXCEL and the VBA programming language. Research, computer modeling and calculations were performed using MS EXCEL and the VBA programming language. The program can be used for automatic data processing when calculating nonparametric statistics using mathematical statistics methods for which there are no corresponding programs and functions in MS Excel.

Own development and availability of the source code of the program allows you to use it in research, as well as to include it in the data processing software package.

Methods of mathematical statistics, distribution of the general population, normal distribution, nonparametric criterion.

Непараметрическая статистика занимает важное место среди математических методов исследования. Она позволяет определять верность статистических гипотез и не требует при этом допущения о том, что закон распределения выборочных данных имеет тот или иной закон распределения. Наиболее часто без достаточных на то оснований допускается: выборочные данные подчинены нормальному закону распределения. Но, как показывает практика [2], результаты реальных исследований часто распределены по законам, сильно отличающимся от нормального. Можно получить существенные ошибки, если применять параметрические методы без предварительной проверки нормальности распределения. Поэтому непараметрические методы должны шире внедряться в статистическую практику.

В работе [1] отмечен недостаток популярного среди большого числа пользователей табличного процессора MS EXCEL. В эту программу не включены соответствующие функции и надстройки, позволяющие использовать богатые возможности непараметрических методов. В [1] реализован в редакторе MS EXCEL критерий Манна-Уитни – непараметрический аналог двухвыборочного критерия Стьюдента.

В качестве следующего шага по «совершенствованию» MS EXCEL в данной статье разработана программа для дисперсионного анализа Краскела – Уоллиса. Анализ Краскела – Уоллиса можно считать непараметрическим аналогом классического дисперсионного анализа, построенного на основе критерия Фишера.

Критерий Краскела-Уоллиса рассматривается как обобщение критерия Манна-Уитни при числе выборок более двух ($k > 2$). Таким образом, в этом случае проверяется гипотеза H_0 : k независимых выборок получены из одной генеральной совокупности.

Наблюдаемое значение статистики критерия H определяется следующим образом [4].

Все выборки записываются в виде единой последовательности, элементы которой ранжируются в порядке возрастания.

Как и в критерии Манна-Уитни, каждому элементу выборок присваивается ранг. При совпадении по величине нескольких элементов каждому из них присваивается средний ранг. Величина среднего ранга определяется по формуле средней арифметической порядковых номеров равных по величине элементов.

Пусть r_i – сумма рангов i -й выборки, $i = 1, 2, \dots, k$. Для контроля используется тождество:

$$\sum_{i=1}^k r_i = \frac{n(n+1)}{2}.$$

где n – число элементов объединенной выборки.

Выборочное значение статистики критерия Краскела-Уоллиса определя-

ется по формуле:

$$H_B = \frac{12}{n(n+1)} \left(\sum_{i=1}^k \frac{r_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1).$$

При совпадении по величине нескольких рангов в объединенной выборке используется модифицированная статистика:

$$H_B^* = \frac{H_B}{1 - \frac{1}{n^3 - n} \sum_{i=1}^m (t_j^3 - t_j)}, \quad (1)$$

где t_j – число совпадающих наблюдений в группе с номером j ;

m – число групп совпадающих наблюдений.

Для малых выборок верхние критические значения статистики критерия Краскела-Уоллиса определяются по таблицам [4].

Считается, что статистика H распределена по закону χ^2 с $(k-1)$ степенями свободы в случае верности нулевой гипотезы H_0 и при $n_i \geq 5$ и $k \geq 4$. Если выборочное значение H_0 статистики H удовлетворяет условию:

$$H_0 > \chi_{1-\alpha, k-1}^2, \quad (2)$$

то гипотеза H_0 отвергается на уровне значимости α . В выражении (2) $\chi_{1-\alpha, k-1}^2$ – квантиль распределения χ^2 порядка $(k-1)$ с $(k-1)$ степенями свободы.

Пример 1. Имеются данные о четырех выборках (табл. 1):

Таблица 1 – Исходные данные для примера 1

Выборка 1	83	85	82	82	84	-	-	-	-	-	-
Выборка 2	84	85	85	86	86	87	-	-	-	-	-
Выборка 3	86	87	87	87	88	88	88	88	88	89	90
Выборка 4	89	90	90	91	91	-	-	-	-	-	-

На уровне значимости 0,05 проверить нулевую гипотезу: выборки взяты из одной генеральной совокупности.

Решение

Объединим выборки в один общий ряд и расставим варианты в этом ряду по возрастанию (табл. 2).

Таблица 2 – Создание общего ранжированного ряда

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Общий ряд	82	82	83	84	84	85	85	85	86	86	86	87	87	
№ вы-борки	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	3	2	3	
№ п/п	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Общий ряд	87	87	88	88	88	88	88	89	89	90	90	90	91	91
№ вы-борки	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4

Для вариантов общего ряда выпишем ранги (табл. 3).

Таблица 3 – Определение рангов вариантов общего ряда

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Ранг	1,5	1,5	3	4,5	4,5	7	7	7	10	10	10	13,5	13,5	
№ вы- борки	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	3	2	3	
№ п/п	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Ранг	13,5	13,5	18	18	18	18	18	21,5	21,5	24	24	24	26,5	26,5
№вы- борки	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4

Вычислим сумму рангов первой выборки:

$$r_1 = 1,5 + 1,5 + 3 + 4,5 + 7 = 17,5.$$

Вычислим сумму рангов второй выборки:

$$r_2 = 4,5 + 7 + 7 + 10 + 10 + 13,5 = 52.$$

Вычислим сумму рангов третьей выборки:

$$r_3 = 10 + 13,5 + 13,5 + 13,5 + 18 + 18 + 18 + 18 + 18 + 21,5 + 24 = 186.$$

Вычислим сумму рангов четвертой выборки:

$$r_4 = 21,5 + 24 + 24 + 26,5 + 26,5 = 122,5.$$

Выборочное значение статистики критерия:

$$H_B = \frac{12}{27 \cdot 28} \left(\frac{17,5^2}{5} + \frac{52^2}{6} + \frac{186^2}{11} + \frac{122,5^2}{5} \right) - 3 \cdot 38 \approx 21,69.$$

С помощью статистической функции MS EXCEL ХИ2.ОБР.ПХ (0,05; 3) определяем квантиль распределения χ^2 :

$$\chi_{0,95;3}^2 = 7,81.$$

Так как условие (2) выполняется, то нулевая гипотеза об отсутствии различий выборок отвергается.

Хотя в объединенной выборке много совпадающих рангов, модифицированную статистику можно не вычислять. Так как знаменатель в формуле (1) по модулю не превышает единицу, то конечный результат в данном случае не изменится.

Для автоматизации рассмотренных выше расчетов (и уменьшения времени, затрачиваемого на их проведение) были разработаны компьютерные алгоритм и соответствующая ему программа на языке VBA [3].

Алгоритм программы расчета критерия *H* Краскела-Уоллиса:

1. Ввод значения M ,
где M – количество выборок.
2. Ввод значений P_k ,
где $k = 1, 2, \dots, M$,
 P_k – объем k -ой выборки.
3. Ввод значений всех M выборок в электронную таблицу MS EXCEL в указанный диапазон ячеек (всего M столбцов подряд разной длины, начиная со столбца A и строки № 5).
4. Объединение всех выборок в один «общий ряд» объемом NNN , вычисляемым по формуле:

$$NNN = \sum_{k=1}^M P_k.$$

5. Расстановка значений в столбце «общий ряд» по возрастанию. Одновременно справа от этого столбца создается столбец «№ выборки», в котором для

каждого значения из столбца «общий ряд» помещается соответствующий номер выборки, к которой это значение принадлежит.

Кроме того, справа от столбца «№ выборки» создается столбец «№ п/п» с номерами по порядку для всех значений в столбце «общий ряд».

6. Создание вспомогательного столбца « I » справа от столбца «№ п/п». В этом столбце каждому значению из столбца «общий ряд» ставится в соответствие некоторое натуральное число, определяющее номер подгруппы повторяющихся значений в столбце «общий ряд», если таковые имеются. Если же в столбце «общий ряд» стоит неповторяющееся значение, то в столбце « I » ему ставится в соответствие нуль.

Анализ столбца «общий ряд» выполняется сверху вниз (от наименьшего значения в сторону возрастания значений). Цель анализа – выявление в столбце «общий ряд» групп повторяющихся значений, идущих подряд. В составе каждой такой группы должно быть два или более чисел. Первая от начала такая группа получает номер 1. Следующая такая группа получает номер 2 и т.д. Возможен случай, когда таких групп не будет ни одной.

Таким образом, в результате анализа выявляется, что столбец «общий ряд» после упорядочивания по возрастанию состоит из групп повторяющихся чисел и отдельных не повторяющихся чисел. Каждому из повторяющихся значений, входящих в одну группу в столбце «общий ряд», ставится в соответствие одно и то же число (номер группы) в столбце « I ».

7. Анализ столбца « I » и определение в нем количества разных подгрупп, состоящих из повторяющихся значений, в каждой из которых имеются хотя бы два одинаковых числа, отличных от нуля. Найденное количество подгрупп записывается в ячейку «*max*».

8. Организуется цикл с параметром k , изменяющимся от минимального значения «1» до максимального значения «*max*» с шагом «1». В этом цикле анализируются по очереди все группы во вспомогательном столбце « I », если такие группы существуют.

По результатам анализа для каждой группы вычисляется ранг (среднее значение чисел содержащихся в столбце «№ п/п» из строк, входящим в группу). Этот ранг ставится в соответствие каждому значению столбца «общий ряд» из этой группы и с тем же номером по порядку (из столбца «№ п/п») проставляется в столбце *RANG*.

Если какое-то значение из столбца «общий ряд» не входит ни в одну из групп, то в столбце *RANG* проставляется его номер по позиции (из столбца «№ п/п»).

9. Вычисление суммы рангов r_k для каждой выборки, где $k = 1, 2, \dots, M$. Для этого организуется внешний цикл, в котором перебираются выборки с параметром k и внутренний цикл с параметром s , в котором перебираются значения внутри очередной группы, $s = 1, 2, \dots, P_k$. Здесь M – количество выборок; P_k – объем k -ой выборки.

Внутренний цикл выполняется M раз. При каждом исполнении внутреннего цикла вычисляется очередная сумма рангов r_k по выборке с номером k .

10. Производится вычисление статистики критерия H_B по формуле:

$$H_B = \frac{12}{n(n+1)} \left(\sum_{i=1}^k \frac{r_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1).$$

При отладке Программы по данным примера 1 были вычислены суммы рангов выборок, число групп совпадающих наблюдений m и наблюдаемое значение критерия H_B . Полученные результаты совпали с результатами ручного счета (табл. 4):

Таблица 4 – Исходные данные для примера 2

r_1	r_2	r_3	r_4
17,5	52	186	122,5
$H_B=$	21,687	$m=$	9

Для иллюстрации работы разработанной программы выполнен Пример 2.

Пример 2. Имеются данные Росстата [5] за второй квартал 2018 года по уровню безработицы в России с разбивкой по федеральным округам (табл. 5):

Таблица 5 – Исходные данные для примера 2

Центра- льный (об- ласти)	Бр, %	Северо- Запад- ный	Бр, %	Южный	Бр, %	Северо- Кавказ- ский	Бр, %
Белгород- ская	3,9	Карелия	8,3	Адыгея	8,6	Дагестан	10,6
Брянская	3,5	Коми	7,0	Калмыкия	8,8	Ингушетия	26,3
Владимир- ская	4,4	Архан- гельская	6,4	Крым	5,5	Кабардино- Балкария	9,7
Воронеж- ская	3,1	Воло- годская	4,7	Красно- дарский край	4,8	Карачаево- Черкессия	10,4
Ивановс-кая	4,3	Калинин- градская	4,5	Астра- ханская	7,4	Северная Осетия – Алания	8,4
Калужская	4,2	Ленин- градская	3,9	Волго- градская	5,5	Чечня	13,5
Костром- ская	4,4	Мурман- ская	6,6	Ростов- ская	5,0	Ставропо- льский край	5,0
Курская	3,8	Новгород- ская	4,1	-	-	-	-
Липецкая	3,7	Псковская	4,9	-	-	-	-
Московская	2,6	-	-	-	-	-	-
Орловская	4,8	-	-	-	-	-	-
Рязанская	3,8	-	-	-	-	-	-
Смоленская	4,8	-	-	-	-	-	-
Тамбовская	3,9	-	-	-	-	-	-
Тверская	3,9	-	-	-	-	-	-
Тульская	3,8	-	-	-	-	-	-
Ярославская	4,1	-	-	-	-	-	-

В таблице 5 обозначено: Бр,% – уровень безработицы, вычисленный как доля экономически активного населения, выраженная в процентах, приходящаяся на безработных в данном регионе.

Требуется определить, можно ли на уровне значимости 0,05 утверждать о несущественности влияния географического положения федерального округа на уровень безработицы?

Решение. Исходные данные помещены в электронную таблицу и состоят из четырех выборок, длиной в 17, 9, 7 и 7 чисел соответственно (табл. 6):

Таблица 6 – Исходные данные для примера 2

	A	B	C	D
1	выб-1	выб-2	выб-3	выб-4
2	n1=	n2=	n3=	n4=
3	17	9	7	7
4	KOL=	40		
5	3,9	8,3	8,6	10,6
6	3,5	7	8,8	26,3
7	4,4	6,4	5,5	9,7
8	3,1	4,7	4,8	10,4
9	4,3	4,5	7,4	8,4
10	4,2	3,9	5,5	13,5
11	4,4	6,6	5	5
12	3,8	4,1		
13	3,7	4,9		
14	2,6			
15	4,8			
16	3,8			
17	4,8			
18	3,9			
19	3,9			
20	3,8			
21	4,1			

Результаты расчета выводятся в таблицу 7:

Таблица 7 – Результаты расчета критерия H Краскела-Уоллиса

Общ. ряд	№ вы-борки	№ п/п	«I»	RANG	Суммы рангов			
2,6	1	1	0	1	173	201	198	248
3,1	1	2	0	2				
3,5	1	3	0	3	НВ=	27,9	m=	7
3,7	1	4	0	4				
3,8	1	5	1	6				
3,8	1	6	1	6				
3,8	1	7	1	6				
3,9	1	8	2	9,5				
3,9	1	9	2	9,5				
3,9	1	10	2	9,5				
3,9	2	11	2	9,5				
4,1	1	12	3	12,5				
4,1	2	13	3	12,5				
4,2	1	14	0	14				
4,3	1	15	0	15				
4,4	1	16	4	16,5				
4,4	1	17	4	16,5				
4,5	2	18	0	18				
4,7	2	19	0	19				
4,8	1	20	5	21				
4,8	1	21	5	21				
4,8	3	22	5	21				
4,9	2	23	0	23				
5	3	24	6	24,5				
5	4	25	6	24,5				
5,5	3	26	7	26,5				
5,5	3	27	7	26,5				
6,4	2	28	0	28				
6,6	2	29	0	29				
7	2	30	0	30				
7,4	3	31	0	31				
8,3	2	32	0	32				
8,4	4	33	0	33				
8,6	3	34	0	34				
8,8	3	35	0	35				
9,7	4	36	0	36				
10,4	4	37	0	37				
10,6	4	38	0	38				
13,5	4	39	0	39				
26,3	4	40	0	40				

В таблице 7 приведены:

- наблюдаемое значение критерия Краскела-Уоллиса $H_B = 27,9$;
- число групп совпадающих наблюдений $m = 7$;
- суммы рангов первой выборки $r_1 = 173$;

- суммы рангов второй выборки $r_2=201$;
- суммы рангов третьей выборки $r_3=198,5$;
- суммы рангов четвертой выборки $r_4=248$.

С помощью статистической функции MS EXCEL ХИ2.ОБР.ПХ для уровня значимости 0,05 и числа степеней свободы $k=3$ определена квантиль распределения χ^2 :

$$\chi_{0,95;3}^2=7,81.$$

Так как условие (2) выполняется ($27,90>7,81$), то нулевая гипотеза о несущественности влияния географического положения федерального округа на уровень безработицы отвергается.

Таким образом, разработанный алгоритм и написанная на его основе программа расчета критерия Краскела-Уоллиса позволяют с помощью табличного редактора MS EXCEL проводить непараметрический однофакторный дисперсионный анализ.

Литература

1. Антипина Н.М., Захаров В.Н., Протасов Ю.М. Непараметрический критерий различия для двух независимых выборок в табличном редакторе MS EXCEL // Журнал «Информационно-технологический вестник», № 1. 2019. с. 48-58.
2. Орлов А.И. Часто ли распределение результатов наблюдений является нормальным? // Заводская лаборатория, 1991. Т. 57. №7. с. 64-66.
3. Слепцова Л.Д. Программирование на VBA в Excel 2010 // М.: Диалектика, 2010. 432 с.
4. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э. Фигурнова // М.: ИНФРА-М, 2003. 544 с.
5. [Электронный ресурс]. URL: [https:// vkreditbe.ru/uroven-bezrobotitsy-v-gossii/](https://vkreditbe.ru/uroven-bezrobotitsy-v-gossii/).

УДК 621.391.01

Математические методы описания негауссовских случайных процессов, используемые при их моделировании

В.М. Артюшенко, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационные технологии и управляющие системы, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область,

В.И. Воловач, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационный и электронный сервис», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования, Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти

Рассмотрены математические методы позволяющие описывать одномерные и двумерные негауссовские случайные процессы при их моделировании. Проанализировано представление одномерных распределений ортогональными рядами Грама – Шарлье и Эджворта, а также двумерных распределений в виде разложения по полиномам Эрмита. Рассмотрены методы разложения плотности распределения вероятностей по полиномам Лагерра и рядам Фурье.

Плотность распределения вероятностей, ортогональные полиномы, начальные моменты, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса, характеристическая функция, кумулянты.

Mathematical methods of description of non-Gaussian random processes used in their modeling

V.M. Artyushenko, doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of information technologies and control systems, State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

V.I. Volovach, doctor of technical Sciences, associate Professor head of the Department «Information and electronic service», State budgetary educational institution of higher education Volga region state University of service, Tolyatti

Mathematical methods allowing to describe one-dimensional and two-dimensional non-Gaussian random processes at their modeling on electronic computers are considered. The representation of one – dimensional distributions by orthogonal gram-Charlier and Edgeworth series, as well as two-dimensional distributions in the form of Hermite polynomial expansion is analyzed. Methods of decomposition of probability density distribution over Laguerre polynomials and Fourier series are considered.

Probability density distribution, orthogonal polynomials, initial moments, skewness coefficient, kurtosis coefficient, characteristic function, cumulants.

Введение. Традиционным описание негауссовских случайных процессов является их описание в виде многомерной плотности распределения вероятностей (ПРВ). Однако на практике, для многих реальных процессов, найти многомерную ПРВ, часто просто не представляется возможным. Поэтому для их описания применяют различные приближенные методы, нашедшие широкое применение в радиотехнике, радиофизике, радиолокации, электронике, теории связи и автоматическом управлении [2, 5]. Рассмотрим наиболее часто применяемые методы, позволяющие описать негауссовские случайные процессы при осуществлении анализа и синтеза информационно-измерительных систем с применением математического моделирования.

Разложение плотности распределения вероятностей с помощью ортогональных полиномов. Заданную одномерную ПРВ $W(\xi)$ можно разложить по некоторому «опорному» закону $W_{\text{оп}}(\xi)$, воспользовавшись равенством

$$W(\xi) = W_{\text{оп}}(\xi) \sum_{k=0}^{\infty} c_k Q_k(\xi),$$

где $\{Q_k(\xi)\}$ – система, выбранная некоторым образом ортонормированных, с весом $W_{\text{оп}}(\xi)$ полиномов, так, что

$$Q_k(\xi) = \sum_{i=0}^k a_i \xi^i.$$

Коэффициенты c_k определяют из выражения

$$c_k = \int_{-\infty}^{\infty} W(\xi) Q_k(\xi) d\xi.$$

Или, учитывая, что i -й начальный момент ПРВ $W(\xi)$ может быть определен из выражения

$$\int \xi^i W(\xi) d\xi = m_{iw}$$

можно записать, что

$$c_k = \sum_{i=0}^k a_i m_{iw}.$$

Откуда

$$W(\xi) = W_{\text{оп}} \sum_{k=0}^{\infty} Q_k(\xi) \sum_{i=0}^k a_i m_{iw}.$$

Важно отметить, что разложение

$$W(\xi) = W_{\text{оп}}(\xi) \sum_{k=0}^N c_k Q_k(\xi),$$

на N слагаемых, удовлетворяет нормировки, так, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} W(\xi) d\xi = 1.$$

Аналогичные разложения будут справедливы и для двумерных ПРВ:

$$W(\xi_1, \xi_2) = W_{\text{оп}}(\xi_1) W_{\text{оп}}(\xi_2) \sum_{k,r=0}^{\infty} c_{kr} Q_{1,k}(\xi_1) Q_{2,k}(\xi_2).$$

Рекомендуется в качестве $W_{\text{оп}}(\xi_1)$ и $W_{\text{оп}}(\xi_2)$ выбирать одномерные ПРВ $W(\xi_1)$ и $W(\xi_2)$, соответствующие двумерной ПРВ $W(\xi_1, \xi_2)$, а $Q_{1,k}(\xi_1)$ и $Q_{2,k}(\xi_2)$ подбирать так, чтобы коэффициенты $c_{kr} = 0$ при $k \neq r$.

Тогда

$$W(\xi_1, \xi_2) = W(\xi_1) W(\xi_2) c_n Q_{1,n}(\xi_1) Q_{2,n}(\xi_2), \quad (1)$$

$$\text{где } c_n = \iint_{-\infty}^{\infty} W(\xi_1, \xi_2) Q_{1,n}(\xi_1) Q_{2,n}(\xi_2) d\xi_1 d\xi_2.$$

Аналогичное разложение справедливо и для характеристических функций.

Заметим, что разложение двумерных ПРВ в некоторых случаях возможно и тогда, когда полиномы $Q_{1,k}(\xi_1)$ и $Q_{2,k}(\xi_2)$ не являются ортогональными.

Дальнейшая модификация представления ПРВ в виде (1) состоит в разложении одномерной ПРВ по заданным ортогональным базисным функциям.

Если по условиям задачи отсутствуют полные априорные сведения об од-

номерных ПРВ, то существуют неоднозначность в выборе аппроксимирующего семейства. Такая ситуация, например, возникает при описании апостериорной ПРВ в задачах нелинейной фильтрации и демодуляции.

В работах [3, 4] отмечены достоинства экспоненциального ПРВ, согласно которому неизвестная ПРВ $W(\xi|\alpha)$, где α – неопределенный параметр, аппроксимируется ПРВ экспоненциального вида с дальнейшим нахождением параметров аппроксимирующей ПРВ.

В частности, $W(\xi|\alpha)$ представляется в виде

$$W(\xi|\alpha) = \exp\{\sum_{i=1}^N \varphi(\xi)\alpha_i + \Gamma(\alpha) + \varphi_c(\xi)\},$$

где $\Gamma(\cdot)$ – гамма-Функция.

Здесь системы функций $(1, \varphi_1, \dots, \varphi_N)$, $(\alpha_1, \dots, \alpha_N)$ – линейно независимы.

Функция $\Gamma(\alpha)$ определяется из условия нормировки:

$$\Gamma(\alpha) = -\ln \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{\sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi_i(\xi) + \varphi_0(\xi)\} d\xi = 1.$$

В случае зависимости выборки в показателе экспоненты для ПРВ $W(\xi|\alpha)$ вводится функция $\varphi(\xi_h, \xi_{h-1})$, которая учитывает зависимость процесса в соседние моменты времени.

Поскольку вид этих функций, как и прежде, предполагается априорно неизвестным, ее разлагают по базисным функциям с неопределенными коэффициентами $\{\beta_{ij}\}$, $i, j = \overline{0, N}$:

$$\psi(\xi_h, \xi_{h-1}) = \sum_{i,j=1}^N \beta_{ij} \varphi_i(\xi_h) \varphi_j(\xi_{h-1}),$$

где черта сверху, здесь и далее, означает усреднение по множеству.

В этом случае ПРВ $W(\xi|\alpha)$ преобразуется к виду

$$W(\xi_h, \xi_{h-1}) = \exp\{\Gamma(\alpha, \beta, \xi) + \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi_i(\xi_h) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \beta_{ij} \varphi_i(\xi_h) \varphi_j(\xi_{h-1})\},$$

где $\varphi_j(x)$, $j = \overline{1, N}$ – заданное семейство линейно независимых функций; $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, $\beta = (\beta_{ij})$ – неопределенные параметры.

Функцию $\Gamma(\alpha, \beta)$ определяют из условия нормировки:

$$\int_{-\infty}^{\infty} W(\xi_h | \xi_{h-1}) = d\xi_h = 1.$$

Экспоненциальному семейству принадлежат n -мерное нормальное, бимодальное, мультиномиальное, экспоненциальное распределения, ПРВ Пирсона (с критерием Пирсона $z = \pm\infty$) вида [1]

$$W(\xi) = W_0 \left(1 + \frac{\xi}{l}\right)^q \exp\left\{-\frac{q\xi}{l}\right\},$$

где

$$\xi = \xi' - m_1 + \frac{dk_a}{2}; W_0 = \frac{1}{l} \times \frac{q+1}{\exp\{q\}\Gamma(q+1)},$$

$$l = \sigma \left(\frac{2}{k_a} - \frac{k_a}{2}\right); q = \frac{4}{k_a^2} - 1; k_a = \frac{M_3}{\sigma^3};$$

k_a – коэффициент асимметрии; M_3 – 3-й выборочный центральный момент; σ – среднее квадратичное отклонение; m_1 – выборочное значение первого начального момента; (\cdot) – математический знак производной по времени.

Рассмотрим представление двумерной ПРВ $W(t, \xi_1, \xi_2)$ в виде разложения по полиномам Эрмита в ряд типа Эджворта:

$$\begin{aligned}
 W(t, \xi_1, \xi_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\kappa_{20}\kappa_{02}}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \times \frac{(\xi_1 - \kappa_{10})^2}{\kappa_{20}} + \frac{(\xi_1 - \kappa_{01})^2}{\kappa_{02}}\right\} \times \\
 &\times \left\{1 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k!} \rho_{11}^k H_k\left(\frac{\xi_1 - \kappa_{10}}{\sqrt{\kappa_{20}}}\right) H_k\left(\frac{\xi_1 - \kappa_{01}}{\sqrt{\kappa_{02}}}\right) + \right. \\
 &+ \sum_{m_1+m_2=3} \frac{1}{m_1!m_2!} \frac{\kappa_{m_1 m_2}}{\sqrt{\kappa_{20}^{m_1} \kappa_{02}^{m_2}}} \sum_{k=0} \frac{1}{k!} \rho_{11}^k H_{m_1+k}\left(\frac{\xi_1 - \kappa_{10}}{\sqrt{\kappa_{20}}}\right) H_{m_2+k}\left(\frac{\xi_2 - \kappa_{01}}{\sqrt{\kappa_{02}}}\right) + \\
 &+ \sum_{m_1+m_2=4} \frac{1}{m_1!m_2!} \frac{\kappa_{m_1 m_2}}{\sqrt{\kappa_{20}^{m_1} \kappa_{02}^{m_2}}} \sum_{k=0} \frac{1}{k!} \rho_{11}^k H_{m_1+k}\left(\frac{\xi_1 - \kappa_{10}}{\sqrt{\kappa_{20}}}\right) H_{m_2+k}\left(\frac{\xi_2 - \kappa_{01}}{\sqrt{\kappa_{02}}}\right) + \\
 &+ \frac{1}{2} \sum_{m_1+m_2=3} \sum_{n_1+n_2=3} \frac{\kappa_{m_1 m_2} \kappa_{n_1 n_2}}{\{\kappa_{20}^{m_1} \kappa_{02}^{m_2} \kappa_{20}^{n_1} \kappa_{02}^{n_2} m_1! m_2! n_1! n_2!\}^{0.5}} \times \\
 &\times \sum_{k=0} \frac{1}{k!} \rho_{11}^k H_{m_1+n_1+1}\left(\frac{\xi_1 - \kappa_{10}}{\sqrt{\kappa_{20}}}\right) H_{m_2+n_2+1}\left(\frac{\xi_2 - \kappa_{01}}{\sqrt{\kappa_{02}}}\right) + \dots \Big\}, \\
 \rho_{11} &= \frac{\kappa_{11}}{\sqrt{\kappa_{20}\kappa_{02}}}.
 \end{aligned}$$

Здесь символы $\sum_{m_1+m_2=M}$; $\sum_{n_1+n_2=N}$, где $M = 3, 4$; $N = 3$, означают, что суммирование производится по всем таким значениям m_1, m_2, n_1, n_2 , что $m_1 + m_2 = M$; $n_1 + n_2 = N$; $H_n(z)$ – одномерные полиномы Эрмита.

Принимая во внимание, что

$$\kappa_{11} = \langle \xi_1(t_1)\xi_2(t_2) \rangle B_{12}(\tau) = R_{12}(\tau) + m_1 m_2$$

– ковариационная матрица, которая при

$$m_1 = m_2 = 0$$

совпадает с корреляционной функцией $B_{12}(\tau)$

$$\kappa_{02} = \sigma_{\xi_2}; \kappa_{20} = \sigma_{\xi_1},$$

а ρ_{11} совпадает с безразмерным коэффициентом корреляции $R_{12}(\tau)$, и учитывая, что $H_0(\xi) = 1, H_1(\xi) = \xi$ для случая, когда

$$\kappa_{01} = \kappa_{10} = m_1 = m_2 = 0,$$

найдем

$$\begin{aligned}
 W_{\xi}(\xi_1, \xi_2) &= \frac{1}{2\pi} \exp\left\{-\frac{\xi_1^2}{2} - \frac{\xi_2^2}{2}\right\} \{1 + B_{\xi}(\tau)\xi_1\xi_2 + \\
 &+ 2\pi \sum_{n=2}^{\infty} c_n H_n(\xi_1)H_n(\xi_2) \dots \}, \tag{2}
 \end{aligned}$$

где $\langle \cdot \rangle$ – математический знак, означающий усреднение по множеству.

Соотношение (2) отражает связь корреляционной функции $B_{\xi}(\tau)$ с двумерной ПРВ случайного процесса $W_{\xi}(\xi_1, \xi_2)$.

Если при построении модели негауссовского процесса использовать критерий совпадения корреляционной функции и одномерной ПРВ реального процесса, то с помощью выражения (2) можно оценить различие двумерной ПРВ процесса и его модели.

Очевидно, что погрешность

$$\Delta(\xi_1, \xi_2) = 2\pi \sum c_n H_n(\xi_1)H_n(\xi_2)$$

зависит от момента связи вида $m[\xi_1^k \xi_2^r]$, где $k \neq r \neq 1, k, r = 1, 2, \dots, \infty$.

Представление одномерных ПРВ ортогональными рядами. Для описания унимодальных ПРВ, не очень сильно отличающихся от гауссовских, используют аппроксимацию ПРВ рядами по ортогональным полиномам, коэффициенты которых определяются моментами распределений.

Ряды Грама – Шарлье и Эджворта. При использовании в качестве весо-

вой функции семейства ортогональных полиномов гауссовской ПРВ можем записать ряд Грама – Шарлье:

$$W(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\{-0,5\xi^2\} \sum_{i=0}^{\infty} c_i H_i(\xi),$$

где

$$c_n = \frac{1}{n!} \int_{-\infty}^{\infty} W(\xi) H_n(\xi) d\xi - \text{коэффициент разложения};$$

$$H_n(y) = (-1)^n \exp\{-y^2\} \frac{d^n}{dy^n} \exp\{-y^2\} - \text{полином Эрмита, удовлетворяющий}$$

рекуррентному соотношению

$$H_{n+1}(y) = 2yH_n(y) - 2nH_{n-1}(y), n \geq 1; H_0(y) = 1; H_1(y) = y;$$

$$H_2(y) = y^2 - 1; H_3(y) = y^3 - 3y; H_4(y) = y^4 - 6y^2 + 3.$$

Коэффициенты разложения могут быть выражены через кумулянты $\kappa_{\xi k}$ ПРВ $W(\xi)$.

Так, для нормированной случайной величины имеем:

$$c_{01} = 1; c_1 = c_2 = 1; c_3 = \frac{\kappa_{\xi 3}}{3!}; c_4 = \frac{\kappa_{\xi 4}}{4!}; c_5 = \frac{\kappa_{\xi 5}}{5!};$$

$$c_6 = \frac{(\kappa_{\xi 6} + 10\kappa_{\xi 3}^2)}{6!}; c_7 = \frac{(\kappa_{\xi 7} + 35\kappa_{\xi 4}\kappa_{\xi 3})}{7!}; c_8 = \frac{(\kappa_{\xi 8} + 56\kappa_{\xi 5}\kappa_{\xi 3} + 35\kappa_{\xi 4}^2)}{8!};$$

$$c_9 = \frac{(\kappa_{\xi 9} + 84\kappa_{\xi 6}\kappa_{\xi 3} + 126\kappa_{\xi 5}\kappa_{\xi 4} + 280\kappa_{\xi 3}^3)}{9!}.$$

Также ПРВ $W(\xi)$ можно представить в виде ряда Эджворта. В случае нормированной случайной величины

$$W(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\{-0,5\xi^2\} \left\{ 1 + \frac{\kappa_3}{3!} H_3(\xi) + \frac{\kappa_4}{4!} H_4(\xi) + \frac{10\kappa_3^2}{6!} H_6(\xi) + \right. \\ \left. + \frac{\kappa_5}{5!} H_5(\xi) + \frac{35\kappa_4\kappa_3}{7!} H_7(\xi) + \frac{\kappa_6}{6!} H_6(\xi) + \dots \right\}.$$

Если нормировка не производится, то ряд Эджворта приобретает вид

$$W(\xi) = N(m, \sigma^2) \left[1 + \sum_{n=3}^N \frac{1}{3!} \frac{b_n}{\sigma^n} H_n\left(\frac{\xi-m}{\sigma}\right) \right];$$

$$N(m, \sigma^2) = \frac{\exp\left\{-\frac{(\xi-m)^2}{2\sigma^2}\right\}}{\sigma\sqrt{2\pi}},$$

где $b_n = \sigma^n \int_{-\infty}^{\infty} N(m, \sigma^2) H_n\left(\frac{\xi-m}{\sigma}\right) d\xi$ – коэффициенты разложения, называемые также квазимоментами.

Заметим, что для гауссовского распределения, при $n \geq 3$, все квазимоменты равны нулю. Два первых коэффициента ряда

$$k_a = \frac{b_3}{\sigma^3} = \frac{M_3}{\sigma^3} = \frac{\kappa_3}{\kappa_2^{3/2}}; k_3 = \frac{b_4}{\sigma^4} = \frac{M_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{\kappa_4}{\kappa_2^2},$$

получили название, соответственно, коэффициент асимметрии и эксцесса.

Коэффициент эксцесса характеризует форму ПРВ. Так, если $k_3 > 0$, то в этом случае для ПРВ характерна «остроконечная» вершина. Если $k_3 < 0$, то вершина ПРВ имеет более «плоский» характер.

Здесь $M_i = \int_{-\infty}^{\infty} (\xi - m)^i W(\xi) d\xi$ – центральный момент i -го порядка.

Связь кумулянтов $\kappa_{\xi i}$ нормированной случайной величины ξ с кумулянтами $\kappa_{\xi i}$ ненормированной случайной величины ξ определяется соотношением

$$\kappa_{\xi i} = \frac{\kappa_{\xi i}}{\sqrt{\kappa_{\xi 2}^2}}.$$

ПРВ нормированной $W(\xi)$ и ненормированной $W(\xi)$ случайной величины связаны соотношением

$$W(\xi) = \frac{1}{\sqrt{\kappa_{\xi 2}}} W\left(\frac{\xi - \kappa_{\xi 1}}{\sqrt{\kappa_{\xi 2}}}\right).$$

Следует отметить, что ряд Эджворта обеспечивает лучшую аппроксимацию ПРВ $W(\xi)$ чем ряд Грама – Шарлье, при фиксированном максимальном порядке используемых кумулянтов.

Разложение по полиномам Лагерра. Для односторонних ПРВ, определенных только при положительных значениях аргумента, соответствующий ряд Эджворта сходится медленно, и поэтому рекомендуется использовать разложение ПРВ по полиномам Лагерра.

Весовой функцией семейства ортогональных полиномов в этом случае является ПРВ гамма-распределения, так что

$$W(\xi) = \xi^\alpha \exp\{-\xi\} \sum_{i=0}^{\infty} c_i L_i^{(\alpha)}(\xi), \quad \xi \geq 0,$$

где

$$L_n^{(\alpha)} = \exp\{\xi\} \frac{\exp\{-\alpha\}}{n!} \frac{d^n}{d\xi^n} (\exp\{-\xi\} \xi^{n+\alpha}), \quad \alpha > -1$$

– обобщенный полином Лагерра.

Первые пять полиномов Лагерра имеют вид

$$L_0^{(\alpha)}(\xi) = 1; \quad L_1^{(\alpha)}(\xi) = (a + 1) - \xi;$$

$$L_2^{(\alpha)}(\xi) = \frac{1}{2} [(a + 2; -1; 2) - 2(a + 2)\xi + \xi^2];$$

$$L_3^{(\alpha)}(\xi) = \frac{1}{6} [(a + 3; -1; 3) - 3(a + 3; -1; 2)\xi + 3(a + 3)\xi^2 - \xi^3];$$

$$L_4^{(\alpha)}(\xi) = \frac{1}{24} [(a + 4; -1; 4) - 4(a + 4; -1; 3)\xi + 6(a + 4; -1; 2)\xi^2 - 4(a + 4)\xi^3 + \xi^4]$$

$$L_5^{(\alpha)}(\xi) = \frac{1}{120} [(a + 5; -1; 5) - 5(a + 5; -1; 4)\xi + 10(a + 5; -1; 3)\xi^2 - 10(a + 5; -1; 2)\xi^3 + 5(a + 5)\xi^4 - \xi^5],$$

где использовано обозначение

$$(a; b; n) = a(a + b)(2a + b) \dots [a + (n - 1)b].$$

Коэффициенты разложения

$$c_n = \frac{n!}{\Gamma(n + \alpha + 1)} \int_0^{\infty} L_n^\alpha(\xi) W(\xi) d\xi.$$

Простейшей аппроксимацией ПРВ $W(\xi)$ полиномом Лагерра с одним членом является

$$W(\xi) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha + 1)} \left(\frac{\xi}{\beta}\right)^\alpha \exp\left\{-\frac{\xi}{\beta}\right\},$$

где α и β выражаются через параметры ПРВ $W(\xi)$ m_1 и σ^2 , соответственно, математическое ожидание и дисперсию:

$$\alpha = \frac{m_1^2}{m_2 - m_1} - 1 = \frac{m_1^2}{\sigma^2} - 1; \quad \beta = \frac{m_2 - m_1^2}{m_1} = \frac{\sigma^2}{m_1}.$$

Одномерные ПРВ $W(\xi, t)$ можно выразить через известные функции $\varepsilon_k(\xi, t)$ и неизвестные коэффициенты $\hat{g}(\lambda, t)$, то есть

$$W(\xi, t) = \sum_{k=1}^M g(\lambda_k, t) \varepsilon_k(\xi, t),$$

где

$$\varepsilon_k(\xi, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{-i\lambda_k\} \psi_k(\lambda, t) d\lambda.$$

Под $g(\lambda, t)$ понимается одномерная характеристическая функция ПРВ $W(\xi, t)$, которая представляется в виде эквивалентной суммы:

$$g(\lambda, t) = \sum_{k=1}^M g(\lambda_k, t) \psi_k(\lambda, t),$$

где $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ – некоторые фиксированные значения аргумента характеристической функции; $\psi_k(\lambda, t)$ – известные функции, удовлетворяющие условиям $\psi_k(\lambda_v, t) = \delta_{kv}$; δ_{kv} – символ Кронекера.

Таким образом, для получения приближенного представления ПРВ при заданных функциях $\psi_k(\lambda, t)$ необходимо определить значения одномерных характеристических функций в ряде точек $\lambda_1, \dots, \lambda_m$.

Разложение в ряд Фурье. Если одномерная ПРВ отличается от нуля лишь на конечном интервале $[a, b]$, то ее можно представить рядом Фурье:

$$W(\xi) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \exp\left\{-\frac{2\pi jk}{h} \xi\right\}, \quad h = b - a, \quad \xi \in [a, b];$$

$$a_k = \frac{1}{h} \int_a^b W(\xi) \exp\left\{\frac{2\pi jk}{h} \xi\right\} d\xi.$$

Если $W(\xi)$ – четная функция и $a = -b$, то

$$W(\xi) = a_0 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{2\pi k \xi}{h};$$

$$a_k = \frac{2}{h} \int_0^b W(\xi) \cos \frac{2\pi k \xi}{h} d\xi.$$

При вычислении оценки ПРВ вместо коэффициентов a_k используются их оценки, выраженные через оценки полиномов или семиинвариантов.

Выводы. Таким образом, рассмотрены вопросы, связанные с методами описания негауссовских случайных процессов. Проанализированы методы разложения одномерных плотностей распределения вероятностей с помощью ортогональных полиномов. Показано, что если отсутствуют полные априорные сведения об одномерных ПРВ, например, при описании апостериорных ПРВ в задачах нелинейной фильтрации и демодуляции, то существует неоднозначность в выборе аппроксимирующего семейства.

Рассмотрено представление двумерной ПРВ в виде разложения по полиномам Эрмита в ряд типа Эджворта. Показано, что если при построении модели негауссовского процесса использовать критерий совпадения корреляционной функции и одномерной ПРВ реального процесса, то можно оценить различие двумерной ПРВ процесса и его модели.

Рассмотрено представление одномерных ПРВ ортогональными рядами. Для описания унимодальных ПРВ близких по форме к гауссовским, широко используют аппроксимацию ПРВ рядами по ортогональным полиномам, коэффициенты которых определяются моментами распределений, например, рядами Грама – Шарлье и Эджворта. Показано, что лучшую аппроксимацию ПРВ, при фиксированном максимальном порядке используемых кумулянтов, обеспечивает ряд Эджворта чем ряд Грама – Шарлье.

Рассмотрены методы разложения по полиномам Лагерра и рядам Фурье. Показано, что для односторонних ПРВ, определенных только при положительных значениях аргумента, соответствующий ряд Эджворта сходится медленно. В этом случае наиболее целесообразно использовать разложение ПРВ по полиномам Лагерра. Если одномерная ПРВ отличается от нуля лишь на определенном конечном

интервале, то ее можно представить с помощью ряда Фурье.

Литература

1. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений // М.: Наука, 1971. 576 с.
2. Попов Б.А., Теслер Г.С. Вычисление функций на ЭВМ // Киев: Наук. думка, 1984. 599 с.
3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций // М.: Наука, 1968. 464 с.
4. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазиоптимальный прием сигналов // М.: Сов. Радио, 1975. 704 с.
5. Четверкина С.И., Шульман В.Б. Пакет прикладных программ моделирования случайных воздействий в задачах радиосвязи // Новосибирск: АН СССР. Сиб. Отделение ВЦ, 1983. 31 с.

УДК 004

К вопросу о разработке интерфейсных приложений для информационных систем

Г.Н. Исаева, кандидат технических наук, доцент,
кафедра Информационных технологий и управляющих систем,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В статье представлен анализ инструментов проектирования и средств разработки, который чаще всего, следуя современным технологиям создания информационных систем (ИС), используется для интерфейсных приложений. Представлена концепция проектирования современного программного обеспечения (ПО). Проведено исследование по выявлению наиболее предпочтительных сред программирования и языков программирования высокого уровня (ЯП ВУ) для перехода от модели интерфейсного приложения ИС к его реализации в виде программного продукта.

Информационные системы, интерфейс, язык программирования, каркас, паттерн.

To the question of the development of interface applications for information systems

G.N. Isaeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Information Technologies and Control System,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The article presents the analysis of design tools and development tools, which are most often used for interface applications; following modern technologies of information systems (IS) creation. The concept of designing modern software (software). A study was conducted to identify the most preferred programming environments and high-level programming languages (HL PL) for the transition from the model of the interface application of IS to its implementation as a software product.

Information systems interface, programming language, framework, and pattern.

Современные технологии проектирования и разработки ИС опираются на различные концепции построения сложного прикладного программного обеспечения (ПО) и на множество программных продуктов, ускоряющих проектирование и разработку, обеспечивающих надёжность и безопасность создаваемых с помощью них программных систем. Структура самой ИС, с точки зрения обеспечивающих и функциональных подсистем представлена на рисунке 1.

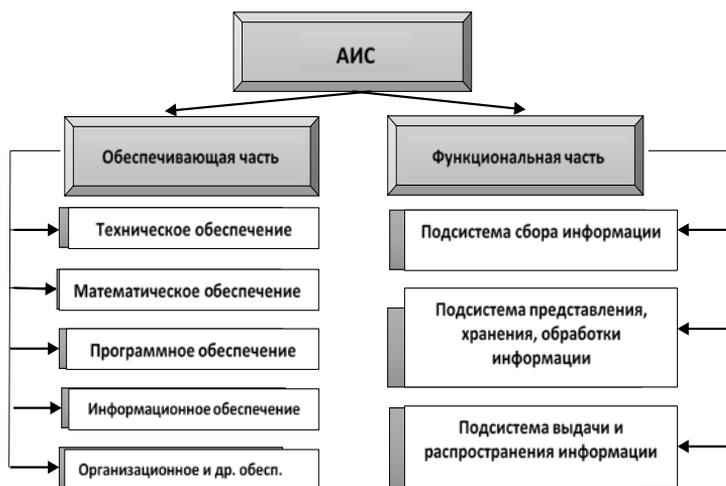


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема ИС

Блок «программное обеспечение» – совокупность общесистемных и прикладных программ, а также инструктивно-методической документации по их применению [6, С.50] определяет функциональность разрабатываемой системы и реализацию ее на выбранных технических средствах.

Проектирование приложения.

Основу современного проектирования сложного ПО, к которому относится разработка ИС, составляет концепция Model–View–Controller (MVC) – Модель–Представление–Контроллер [11, С.1-3]. Компонент «Модель» (Model) отображает логическую структуру знаний – данные и методы работы с данными, и как знания будут реагировать на определенные состояния и запросы, исключая представление этих знаний для пользователя. Компонент «Представление» (View) –содержит визуализацию знаний для пользователя и часто реализуется в виде окон с графическими элементами. «Контроллер» (Controller) является связующим звеном между пользователем и информационной системой (знаниями), обеспечивает контроль ввода данных и запросов от пользователя и, используя компоненты «модель» и «представление», возвращает результат, как соответствующую реакцию на входное воздействие. На рисунке 2 представлена схема данной модели проектирования ПО в свете её компонентов.



Рисунок 2 – Структурная схема MVC

Из изложенного вытекает, что компоненты MVC: «Представление», «Контроллер» зависимы от знаний – от изменения и функциональности «Модели», а компонент «Модель» независим ни от первого, ни от второго компонентов, как указано на рисунке 2; и «Представление», и «Контроллер» могут быть реализованы по-разному для одной и той же модели.

Концепция MVC разделяет прикладную логику и данные от их представления для пользователя. Таким образом, используя современные инструменты проектирования и разработки ПО, реализуются: модель данных программного продукта, пользовательский интерфейс, модуль взаимодействия с пользователем. Причем, эти компоненты обособлены друг от друга в плане реализации, и модификация одного из них не вносит изменения в другие компоненты.

Если трактовать разработку ИС как создание программной системы, предназначенной для выдачи по запросам пользователя необходимой информации, хранимой в системе, то, такая программная система должна содержать развитый пользовательский интерфейс. Как правило, это прикладная программа (приложение) с определенным набором функциональных свойств, обеспечивающая графический интерфейс [3, С.15]. Разработка такого вида программного продукта включает следующие этапы:

- определение типа интерфейса и общих требований к нему;
- определение сценариев использования;
- определение пользовательской модели (логики поведения);
- разработка программного кода, отладка и тестирование.

Передовой на сегодняшний день является технология объектно-ориентированного программирования, которая обладает развитыми средствами описания поведения как различных объектов, так и целых структур объектов. В рамках данной технологии в конце прошлого столетия был предложен, получивший свое развитие в современном программировании, каркасный метод построения ПО, основу которого и составляет приведенный выше шаблон модели проектирования приложений (MVC) и паттерны различного назначения [2, С.18].

Метод, основанный на использовании каркасного подхода, позволяет реализовать архитектурный каркас одного из важнейших компонентов ИС – пользо-

вательского интерфейса или же создать первичный остов модели целой системы в конкретной предметной области. Несмотря на то, что проектирование модели с помощью такого метода, не привязывается к конкретной системе программирования и ЯП ВУ, каркас модели будущего приложения, строится таким образом, чтобы элементы каркаса (составляющие модели) легко программировались в дальнейшем современными инструментами разработки ПО. Далее, будет показана статистика предпочтений разработчиков по современным ЯП ВУ, поддерживающими объектно-ориентированный подход и позволяющих использовать концепцию MVC.

Анализ современных подходов к созданию сложного ПО, показывает, что на всех этапах построения программного продукта, необходимо использовать системный подход, базирующийся на следующих видах паттернов, согласно их классификации по назначению(категориям):

- архитектурные паттерны;
- паттерны проектирования;
- паттерны анализа;
- паттерны тестирования;
- паттерны реализации.

В статье рассматриваются два, наиболее важных вида.

Паттерны проектирования.

Паттерны проектирования (Design patterns) – это специальные схемы(диаграммы), которые базируются на такой же логике построения, что и каркас MVC, только в других масштабах – каждый из них реализует значительно меньше функций. С помощью них и составляется структура подсистем модели проекта программного продукта. Данные паттерны, собираясь в единую схему, описывают общую логическую структуру взаимодействия подсистем проектируемого приложения.

Наиболее востребованными паттернами проектирования в настоящее время являются паттерны GoF (Gang of Four – «Банда четырех»), названные в честь их создателей: Э. Гамма, Р. Хелма, Р. Джонсона, Дж. Влиссидеса; предложенные авторами шаблоны были систематизированы, описаны и для более глубокого понимания пользователями снабжены прототипами реализации на объектно-ориентированном ЯП [2, стр. 22]. Паттерны Gang of Four включают двадцать три паттерна различного функционального назначения – шаблонов наиболее типичных элементов модели проекта разрабатываемого программного продукта.

Все паттерны различаются степенью детализации реализуемых действий, уровнем абстракции модели, заложенной в них. Кроме того, все они не зависят от языка программирования, но их реализация зависит от прикладной области, для которой разрабатывается программный продукт.

Известны на сегодняшний день следующие группы паттернов проектирования:

- Порождающие;
- Структурные;
- Поведенческие.

Переходя от проекта программного приложения определенного функцио-

нального назначения к реализации его для конкретной предметной области, данный каркасный метод незаменим. Он ускоряет время разработки кода и избавляет разработчиков от рутинных операций по отладке программного продукта; позволяет легко реализовать типичные функции интерфейсного приложения готовыми паттернами и соблюдать принципы разработки, касающиеся будущей безопасной эксплуатации создаваемого ПО.

Разработка программного модуля приложения.

На этапе разработки программного модуля приложения выделяют паттерны реализации - *implementation patterns* – функциональные шаблоны (элементы реализации), используемые в структуре модели при написании программного кода. Здесь принято следующее деление по функциональному назначению:

- паттерны организации программного кода;
- паттерны оптимизации программного кода;
- паттерны устойчивости кода;
- паттерны интерактивного взаимодействия пользователя;
- паттерны разработки графического интерфейса пользователя и другие.

Паттерны данной категории, а также фреймворки (каркасы), широко представлены в литературе, интернет-источниках; они наглядно демонстрируют новый подход в проектировании и разработке программных продуктов различного назначения [4, С.20], [1, С3], [8, С.165]. Многие из них реализуются в популярных интегрированных средах разработки (IDE – *Integrated Development Environment*) в виде шаблонов проектов. Разработчик ПО сразу получает заготовку программного кода с готовой структурой при выборе соответствующего шаблона приложения, что значительно облегчает дальнейшее кодирование алгоритма программного продукта.

Надо отметить, прежде чем использовать каркасный подход (несмотря на его явные преимущества) для разработки программного продукта, необходима оценка оправданности его применения. Иногда реализация простого интерфейсного приложения, например, в виде набора форм средствами самой СУБД или в виде небольшого оконного приложения, реализованного средствами визуальной среды программирования Delphi или Visual Basic от Microsoft будет проще для исполнения и выгоднее финансово.

Следует различать на этапе разработки, какого вида интерфейсное приложение необходимо для ИС: настольное, сетевое, мобильное, облачное. Но, не смотря на его вид и различные условия функционирования – логика построения приложения должна быть выверенной, основанной на апробированной модели MVC, обладать дружественным пользовательским интерфейсом и не преподносить клиенту (или пользователю) никаких сюрпризов. То есть все архитектурные компоненты приложения должны обеспечивать эргономику взаимодействия пользователя и ИС.

Согласно изложенному подходу, паттерны и каркасы программирования уже имеют готовый вид. Но какую среду реализации выбрать и какой объектно-ориентированный или мультипарадигмальный ЯП ВУ наиболее предпочтителен? Аналитические отчеты по современным средствам программирования [5 С.1], [10, С.1] показали, что для реализации приложений (настольных, мобильных, сетевых)

наиболее предпочтительны такие языки программирования, как Java, C#, PHP, Python, Ruby, Swift, TypeScript, которые неизменно входят в топ-15-популярных ЯП ВУ по данным за последние пять лет и большинство из них поддерживается интегрированной средой разработки Visual Studio от Microsoft, занимающей ведущее место среди IDE [9, С.1]. Общий рейтинг современных языков программирования построить невозможно, но выделить предпочтение их для разработки современных программных приложений по нескольким параметрам можно [7, С.2]. Например, опираясь на данные журнала spectrum.ieee.org, полученные на сентябрь 2019 года по выборке упоминаний ЯП в поисковых запросах, цитированию данных о языке в твиттере, упоминаний по востребованным вакансиям программистов, рейтинг языков программирования выглядит подобно представленному на рисунке 3. На диаграмме, языку программирования, набравшему первый рейтинг популярности ставится в соответствие 100%, для остальных ЯП процент популярности считается по отношению к этому самому высокорейтинговому языку.

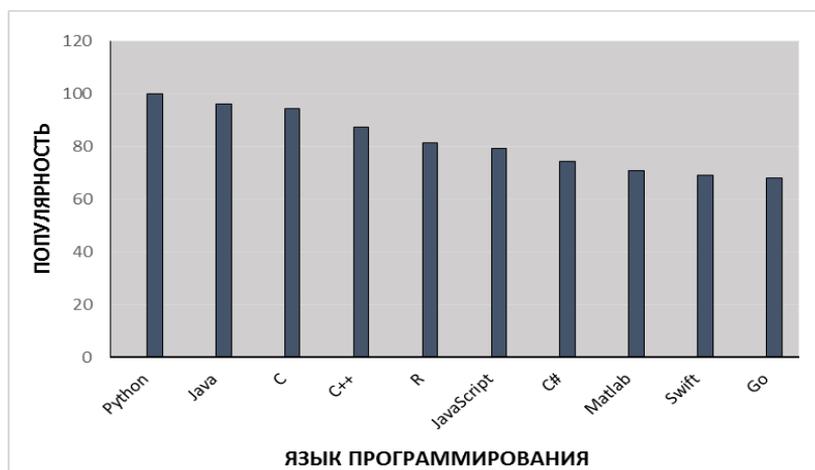


Рисунок 3 – Рейтинг современных ЯП ВУ

Конечно, реализация готовых шаблонов программирования в конкретных средах на выбранном ЯП ВУ уже зависит от синтаксиса и семантики конкретного языка, библиотек, условий среды. В таблице 1 даны критерии выбора языков программирования для реализации проекта программного приложения готовыми шаблонами. Рейтинг ЯП ВУ выбран по индексу TIOBE programming community index – индекс, оценки популярности языков программирования, базирующийся на подсчёте результатов поисковых запросов, содержащих название языка на январь 2019 года [10, С.6].

Таблица 1 – Сравнительная оценка ЯП ВУ

Критерии выбора	Язык программирования					
	Java	C++	C#	PHP	Python	Swift
Кроссплатформенный	+	+	+	+	+	+
Легкость, быстрота освоения	+	-	-	+	+	+
Бесплатный/ условно бесплатный	+	+	+	+	+	+
Надежность	+	+	+	+	+	+
Рейтинг по индексу ТЮВЕ)	1	4	7	8	3	15
Объектно-ориентированный	+	+	+	+	+	+

Выводы:

Интерфейс информационной системы должен быть качественным, так как он является критерием оценки ИС в целом.

Интерфейсное приложение должно быть эргономичным, поэтому является наиболее часто изменяемым на этапе реализации.

Для отделения реализации логики приложения (системы) от часто изменяемой интерфейсной части системы необходимо использовать архитектурный каркас MVC.

При анализе программной реализации будущего интерфейсного приложения, необходимо формализовать задачу построения программного продукта в виде классов, объектов и связей между ними и определить возможность использования паттернов. Программирование паттернами и каркасами должно быть эффективным и оправданным способом разработки и не приводить к усложнению.

При выборе ЯП ВУ, реализующего каркасный подход, необходимо руководствоваться следующими критериями: язык программирования должен поддерживать объектно-ориентированную парадигму; содержать развитые средства безопасности и надежности; с помощью него можно разрабатывать кроссплатформенные приложения; в рейтинговых отчетах должен занимать первые позиции.

Литература

1. Введение в Angular: что это за фреймворк и зачем его использовать [Электронный ресурс]. URL: <https://webformymself.com/vvedenie-v-angular-chto-eto-za-frejmvork-i-zachem-ego-ispolzovat/> (дата обращения: 12.11.2019).
2. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Д. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования // Санкт-Петербург: Питер, 2014. 366с.: ил.
3. Гудов А.М., Завозкин С.Ю., Трофимов С.Н. Технология разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: http://unesco.kemsu.ru/study_work/method/po/UMK/Posobie/glava01.html (дата обращения: 5.11.2019).

4. Знакомство с Spring Framework 5.0 и паттернами проектирования [Электронный ресурс]. URL: https://storage.piter.com/upload/contents/978544610935/978544610935_p.pdf (дата обращения: 11.11.2019).
5. Индекс ТЮБЕ за сентябрь 2019 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения: 5.11.2019).
6. Инюшкина О.Г. Проектирование информационных систем (на примере методов структурного системного анализа) // Екатеринбург: Форт-Диалог Исеть, 2014. 240с.
7. Исаева Г.Н., Пахомов Д.А. Возможности современных языков программирования высокого уровня // статья в сборнике Современные информационные технологии / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // М.: Научный консультант, 2015. с.167-175.
8. Кун Р., Ханафи Б., Аллен Д. Реактивные шаблоны проектирования // СПб: Питер, 2018. 16с.
9. Сведения о проектах и решениях. Microsoft | Документация по Visual Studio [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/tutorial-projects-solutions?view=vs-2019> (дата обращения: 12.11.2019).
10. IEEE Spectrum Top Programming Languages [Электронный ресурс]. URL: <https://spectrum.ieee.org/static/interactive-the-top-programming-languages-2019> (дата обращения: 10.11.2019).
11. MVC: что это такое и какое отношение имеет к пользовательскому интерфейсу. Статьи. 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://tproger.ru/articles/mvc> (дата обращения: 5.11.2019).

УДК 621.391.01:629.7

Импортозамещение программного обеспечения в авиационно-космическом сегменте оборонно-промышленного комплекса

А.А. Комраков, ведущий программист,
К.О. Ушакова, инженер-конструктор 2 категории,
АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»,
г. Королев, Московская область,
В.Г. Исаев, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Управления качеством и стандартизации»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Импортозамещение стало одной из самых актуальных тем обсуждения для всех сфер российского производства. В статье анализируется проблема импортозамещения в сфере программного обеспечения. Определены основные направления рынка ИТ, проведен анализ ПО предприятий ОПК с точки зрения использования продукции российских компаний по каждому из направлений. Рассмотрены основные особенности российских операционных систем и проведен их анализ с точки зрения пригодности для выполнения, как стандартных офисных задач, так и специфичных для авиационно-космических предприятий ОПК. Сформулированы рекомендации по максимизации использования российского ПО и российских операционных систем.

Программное обеспечение, импортозамещение, информационные системы, российские операционные системы, информационная безопасность.

Software import substitution in aerospace sector of defense-industrial complex

A.A. Komrakov, lead programmer,
K.O. Ushakova, the 2nd rank design engineer
in Joint Stock Company «Corporation «Tactical Missiles», Korolev, Moscow region,
V.G. Isaev, Candidate of Technical Sciences, head of the Department
of Quality Management and Standardization,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Import substitution became one of the most important matter to discuss in all spheres of Russian manufacturing. This article provides an analysis of import substitution in the field of software. The main directions of IT market are defined as well as the analysis of software in defense-industrial sector is provided from the point of view of Russian companies' products usage. The main characteristics of Russian operating systems are considered and the analysis is provided from the point of view of OS's possibility in performing standard office tasks as well as specific tasks for defense-industrial

sector enterprises that operating in aerospace field. Number of recommendations are given for maximization of Russian software and operating systems usage.

Software, import substitution, information systems, Russian operating systems, information security.

В июне 2015 года был принят Федеральный закон № 188 о преференциях российскому программному обеспечению [1], который предусматривает запрет госзакупок иностранного ПО (программного обеспечения) в случае, если существует отечественный аналог. А также создан специальный реестр, в него входят программные продукты, которые могут считаться российскими. Постановление Правительства № 1236 [2], которое содержит правила ведения реестра и устанавливает приоритет отечественному ПО при госзакупках. Покупая зарубежный софт госзаказчики должны будут доказать, что на российском рынке ПО аналога покупаемому продукту нет.

Существуют четкие критерии, позволяющие отнести ПО к российскому. Эти критерии утверждены 188 ФЗ. Отечественными считаются разработки в тех случаях, когда исключительным правом на них владеют граждане России или отечественные компании (больше 50% должно принадлежать гражданам, субъектам, муниципалитетам России) или некоммерческой организации, которая подконтрольна гражданам нашей страны или Российской Федерации. Учитываются не только права собственности, но и денежные обстоятельства – не больше 30% выручки может приходиться на отчисления в пользу иностранных разработчиков или их представителей при продаже данного программного продукта.

Запущен сайт реестра российского ПО. На этом портале разработчики могут подать заявления на включение программных продуктов в реестр. Эти заявления проходят проверку Министерством связи и профильным экспертным советом при Министерстве. Совет сформирован из представителей российской ИТ-отрасли, институтов развития, органов власти. Сама процедура внесения продуктов в реестр открытая. На сайте reestr.minsvyaz.ru [8] публикуются зарегистрированные заявления, заключения экспертного совета, приказы Министерства о включении продуктов в реестр.

Рынок ИТ для ОПК в России условно можно разделить на четыре направления:

1. Информационные системы уровня предприятия, к которым относятся САПР, системы управления жизненным циклом (PLM), электронное делопроизводство, информационно-справочные системы, системы планирования ресурсов(ERP) и т.д.;

2. Серверное ПО, серверные операционные системы, СУБД, сервера приложений;

3. Базовое ПО для выполнения повседневных задач, настольные операционные системы, офисные приложения, браузеры, системы распознавания текстов, редакторы векторной и растровой графики и т.д.

4. Специализированные решения для контрольно-проверочной аппаратуры, шифрования, защиты данных, автоматизированных систем управления (АСУ) и т.д.

По первому направлению еще до принятия закона о преимущественном использовании российского программного обеспечения наметилась тенденция перехода на российское ПО, связанная с появлением на российском рынке множества конкурентно способных программных продуктов. По второму и третьему направлению в отечественном ОПК используются в основном импортные решения.

Четвертое направление имеет более высокие требования к секретности и изначально предполагает использование полностью прозрачных разработок отечественного производства.

В таблице 1 и далее приведен анализ ПО используемого в ОПК на примере предприятий, входящих в АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение».

Корпорация является крупнейшим в России холдингом – разработчиком и поставщиком вооружения для оснащения авиационных, корабельных и береговых ракетных комплексов тактического назначения. Всего в корпорацию входят 39 предприятий.

Таблица 1 – Информационные системы предприятий ОПК

Информационные системы	Российское ПО	Зарубежное ПО
Конструкторская документация (PLM)	Союз PLM, Лоцман PLM, Интермех–Search, T-flex docs, Omega Production	–
Технологическая документация	Союз PLM, SWR Технология, САПР ТП Вертикаль, Интермех–TechCard, САПР ТП Вертикаль, Спрут ТП, T-FLEX Технология, ТехноПро, АСУП «Технолог»	TimeLine
CAD системы	SolidWorks, Компас-3D, Компас-График, T-FLEX CAD 2D, 3D	Creo Parametric, Altium Designer
Управление производством	1С УПП, Лоцман-Графики, ГОЛЬФСТРИМ, Система Alfa, СПРУТ ОКПб,	SAP ERP
Бухгалтерский учет	1С Бухгалтерия, Парус Бухгалтерия, БЭСТ 5	SAP ERP
Электронный документооборот	Логика СЭД, СЭД «Directum», Босс Референт, 1С: Документооборот, E1 Евфрат, T-FLEX DOCs, КИС «Флагман», DocsVision	Alfresco
Системы технической поддержки	IntraService	–
Антивирусные системы	DrWeb, Антивирус Касперского	–

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что в настоящее время большинство информационных систем, используемых на предприятиях ОПК (оборонно-промышленного комплекса) (табл. 1) является российским ПО, включенным в реестр [7].

В этом направлении фактически единственным серьезным препятствием на пути перехода на российское ПО является наличие на некоторых предприятиях информационных систем, внедренных десятилетия назад. В одночасье заменить САПР, под который накоплены огромные базы стандартных изделий, конструкторской документации не представляется возможным. ERP системы содержат создаваемые десятилетиями модели данных и процессов, отчеты, сведения о материальных и финансовых ресурсах и т.п., их замена тоже очень проблематична.

По второму направлению, подавляющее большинство серверов предприятий ОПК использует в качестве серверной операционной системы Microsoft Windows Server различных версий (табл. 2).

Как правило, на Windows Server построена вся сетевая инфраструктура, службы разрешения имен, служба каталогов (Active Directory), система групповых политик и т.п.

Многие информационные системы тесно связаны со службой каталогов Windows Server. Российские ОС предлагают в качестве альтернативы Astra Linux Directory, аналогичную по функционалу, но несовместимую с Microsoft Active Directory систему.

В качестве СУБД в основном используется Microsoft SQL Server и Oracle Database. Исключением является, например, СЭД Логика, использующая российскую ОС Alt Linux Server и СУБД Postgres Pro.

Значительное количество серверов работает в виртуальной инфраструктуре на базе VMware vSphere – программного продукта для виртуализации уровня предприятия, предлагаемого компанией VMware (США).

Таблица 2 – Серверное программное обеспечение предприятий ОПК

	Российское ПО	Зарубежное ПО
Серверные ОС	Alt Linux (единицы серверов)	Windows Server, Red Hat Linux
Средства виртуализации	–	VMware vSphere
СУБД	СУБД Postgres Pro	Microsoft SQL, Oracle
Сервера приложений	Сервера 1С:Предприятия8	SAP NetWeaver, Microsoft IIS

По третьему направлению (табл. 3), основой почти всех АРМ (автоматизированных рабочих мест) предприятий ОПК (~99%) служит операционная система Microsoft Windows разных версий и пакет офисных приложений Microsoft Office. Почти весь документооборот, документация и электронные таблицы, используемые на предприятиях, созданы в Microsoft Office. Так же многие другие информационные системы (например, SAP ERP) тесно интегрированы с Microsoft Office.

Кроме того, используется множество бесплатных и открытых программ для просмотра мультимедийной информации (изображения, видео), архивации файлов и т.п. Эти программы не являются российскими, но не требуют лицензии. Как правило, имеются аналоги в российских ОС.

Таблица 3 – Базовое программное обеспечение АРМ пользователей

	Российское ПО	Зарубежное ПО
Пакет офисных приложений	–	Microsoft Office
Операционные системы	–	Microsoft Windows 7
Оптическое распознавание текста	АВВУУ Finereader	–
Программы переводчики	АВВУУ Lingvo	–
Базовое редактирование PDF файлов	–	Adobe Acrobat
Работа с векторной графикой	–	CorelDraw, Microsoft Visio
Работа с растровой графикой	–	Adobe Photoshop, Paint.NET

Отдельным направлением является ПО, встроенное в коммуникационное оборудование и СХД (системы хранения данных). Встроенное программное обеспечение, как правило, разрабатывается производителями аппаратуры, и может быть замещено только вместе с замещением импортного оборудования на российское.

В настоящее время на предприятиях ОПК происходит замена импортного коммуникационного оборудования и СХД на российское по мере устаревания и обновления существующего. Иностранное коммуникационное оборудование фирм Cisco, D-Link, Zyxel заменяется на аналоги российского производства Zelax, QTech, Русьтелетех. Доступны СХД российского производства DEPO, Aerodisk, RCNTEC.

Ключевым элементом для импортозамещения ПО должны стать российские операционные системы. За исключением некоторых специальных ОС, например, операционных систем реального времени (ОСРВ), они представляют собой адаптации ОС, созданных мировым сообществом на принципах открытой разработки (открытое программное обеспечение). Это Unix подобные ОС на базе ядра Linux, набора утилит и программ проекта GNU и множества программных компонентов (рис. 1).

Некоторые российские ОС на ядре Linux:

- Astra Linux (АО «НПО РусБИТех»);
- ОС Эльбрус (АО МЦСТ);
- Alt Linux Workstation (ООО «Базальт СПО»);
- ROSA Linux (НТИЦ ИТ РОСА);
- РЕД ОС (ООО «Ред Софт»).

В мире в основном ОС на ядре Linux применяются на веб серверах, в прошивках оборудования, в мобильных и мультимедийных устройствах.

Среди настольных ОС в мире, доля основанных на Linux составляет около 2%, Windows – 88%, Mac OS – 9%.

Среди веб – серверов доля Linux – 66%, Windows – 33% [6].

В отличие от ОС Windows и Mac OS, разработку которых осуществляют коммерческие компании, ОС на базе Linux создаются и развиваются в основном мировым сообществом.

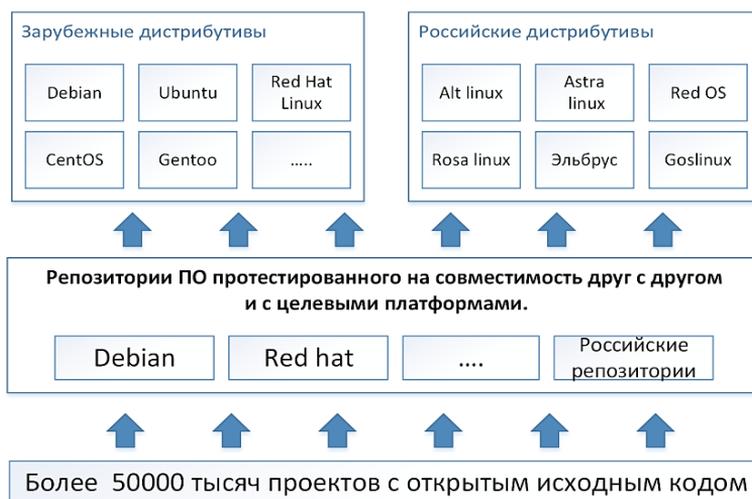


Рисунок 1 – Структура разработки дистрибутивов на базе ядра Linux

Структура разработки и поддержки состоит из следующих основных уровней [4]:

- 1) Десятки тысяч проектов с открытым исходным кодом, создаваемых преимущественно энтузиастами;
- 2) Репозитории ПО протестированного на совместимость друг с другом и целевыми аппаратными платформами;
- 3) Дистрибутивы, сформированные из репозитория, готовые для конечной установки на пользовательское оборудование. Часто дистрибутивы создаются коммерческими компаниями, обеспечивающими платную техническую поддержку.

В силу того, что производители ОС на базе Linux не являются разработчиками большинства ее компонентов, техническая поддержка, в частности у производителей российских ОС, в основном решает следующие вопросы:

- установка и настройка дистрибутива;
- подготовка к работе;
- установка и удаление программ;
- советы по настройке ПО;
- решение вопросов, связанных с подключением периферийных устройств;
- консультации по проведению обновления операционной системы;
- юридическая защита для решения проблем, связанных с лицензированием.

Развитие и исправление ошибок в компонентах во многом зависит от свободной воли авторов кода исходного ПО или ложится на плечи эксплуатирующих организаций.

Отличительной особенностью российских ОС являются надстройки к системе безопасности, для выполнения российских требований к защите данных.

Архитектура и экосистема российских ОС (Программные интерфейсы, средства разработки, системное ПО и т.п.) принципиально отличаются от экоси-

стемы Microsoft Windows, таким образом, переход на российские ОС требует замены практически всего программного обеспечения.

Таблица 4 – Поддержка базовых офисных функций

№ п/п	Вид работ	Windows	Astra Linux	Alt Linux	Комментарии об использовании альтернатив под Linux
1	Работа с локальной сетью для обмена файлами	Проводник	Fly-dm	Сая (Nautilus)	Частично работает, требует «ручного» ввода параметров соединения. Ограниченная совместимость со службой каталогов AD
2	Запись компакт дисков	Множество программ	Множество программ	Множество программ	Возможна полноценная работа
3	Работа с существующими офисными документами в форматах MS Office	Microsoft Office	LibreOffice, P7-офис, МойОфис	LibreOffice, P7-офис, МойОфис	Необходим подбор шрифтов. Нарушение форматирования, поддерживаются не все виды объектов
4	Создание новых офисных документов	Microsoft Office	LibreOffice, P7-офис, МойОфис	LibreOffice, P7-офис, МойОфис	Возможна полноценная работа
5	Просмотр изображений в популярных форматах	Множество программ	Множество программ	Множество программ	Возможна полноценная работа
6	Просмотр видеоматериалов	Множество программ	Множество программ	Множество программ	Возможна полноценная работа
7	Сканирование изображений	ПО производителей сканеров	Simple scan	XSane	Поддерживаются не все модели сканеров
8	Печать на локальные и сетевые принтеры	ПО производителей или открытое (OpenPrinting)	Cups	Cups	Поддерживаются не все модели принтеров
9	Оптическое распознавание текста	Abbyy Finereader			Нет полноценных аналогов
10	Базовое редактирование PDF файлов	Adobe Acrobat	LibreOffice Draw	LibreOffice Draw	Возможна полноценная работа, низкое быстродействие
11	Работа с векторной графикой	CorelDraw, Microsoft Visio	Dia, Inkscape, Libreoffice Draw	Dia, Inkscape, Libreoffice Draw	Возможна полноценная работа
12	Работа с растровой графикой	Adobe Photoshop, Paint.NET	Gimp, Krita	Gimp, Krita	Возможна полноценная работа

В таблице 4 приведен анализ поддержки базовых офисных функций двумя самыми перспективными на наш взгляд российскими ОС в сравнении с Windows.

Можно сделать вывод, что российские ОС вполне пригодны для решения большинства повседневных офисных задач. Однако требуется переход на другие офисные продукты и шрифты. Например, шрифт Times New Roman, который является основным шрифтом, допущенным для составления служебных документов в Вооруженных силах Российской Федерации [5] и большинстве других государственных структур, является собственностью компании Monotype Imaging Inc (США). Чтобы включить шрифт в какую-либо операционную систему, необходимо заключение лицензионного соглашения.

В сентябре 2016 года компаниями АО «НПО РусБИТех» (разработчик операционных систем «Astra Linux») и ООО НПП «ПараТайп» (разработчик общенациональных шрифтов) были представлены общедоступные шрифты: PT Astra Sans и PT Astra Serif, метрически совместимые (аналоги) с Times New Roman.

В таблице 5 приведен анализ возможности замещения ОС на российские по основным типам рабочих мест на примере одного из предприятий АО «Корпорация «ТРВ». В графе «количество» указан процент соответствующих рабочих мест от общего числа.

Таблица 5 – Анализ возможности замещения ОС на российские по типам рабочих мест

Вид рабочего места	Кол-во в %	Основное специализированное ПО	Наличие российского ПО под Windows	Наличие российского ПО под Linux
АРМ конструктора	25,4	SolidWorks, Союз PLM	Есть	Отсутствует
АРМ технолога	19,3	SolidWorks, Союз PLM, Intermech	Есть	Отсутствует
АРМ для документооборота, работы с документацией, стандартам	12	Союз PLM и NormaCS, Гарант, Консультант Кодекс	Есть	Отсутствует
АРМ расчетчика	1,7	MathCad, Matlab, Statistica, Ansys	Частичная (открытый Scilab, российский Логос)	Частично
АРМ Метролога	1,7	Дельта СИ, ПО в комплекте с оборудованием	Частично	Отсутствует
АРМ специалиста УКС	0,8	Смета, AutoCAD, ArchiCAD	Есть (Смета, nanoCAD)	Отсутствует
АРМ специалиста по кадрам	1,4	1С	Есть	Есть
АРМ бухгалтера, экономиста, снабженца	31,2	Sap ERP	В перспективе возможен переход на 1С	В перспективе возможен переход на 1С
АРМ с доступом в Интернет	7	Веб браузер с поддержкой ЭЦП	Частично	Частично

Можно отметить, что серьезным недостатком ОС на базе ядра Linux является то, что в силу малой распространенности на настольных компьютерах, многие классы программ под Linux полностью отсутствуют, например, САПР 3D. В таблице 6 также видно, что значительное количество специализированного ПО не имеет полноценных аналогов.

Таблица 6 – Аналоги наиболее используемого ПО

ПО	Наличие версии под Linux	Возможные аналоги под российские ОС	Российские аналоги под Windows
Adobe Acrobat	Нет	–	LibreOffice Draw
Adobe Photoshop	Нет	Gimp, Krita	–
Altium Designer	Нет	–	–
ANSYS	Нет	–	Логос
ArtCAM Pro	Нет	–	–
Atmel Studio	Нет	Eclipse + AVR Eclipse Plugin	–
Autocad	Нет	FreeCad	NanoCAD, Компас Графикс
CAMWorks	Нет	–	–
Corel Draw	Нет	Inkscape	–
DipTrace	Нет	KiCAD, Eagle	–
Gerbv	Есть	–	–
HxD	Нет	Много	–
Intermech	Нет	–	–
MathCAD	Нет	–	–
Matlab	Есть	Scilab	–
Micro-Cap	Нет	–	–
Microsoft Office	Нет	МойОфис, Р7-офис, LibreOffice	МойОфис, Р7-офис, LibreOffice
MMANA	Нет	–	–
NormaCS	Нет	–	–
P – CAD 2006	Нет	KiCAD, Eagle	–
Proteus 8 professional	Нет	–	–
Simplify3D	Есть	–	–
SketchUp 2017	Нет	–	–
Solidworks	Нет	–	–
sPlan	Нет	KiCAD, Eagle	–
Spotlight	Нет	–	–
Sprint Layout	Нет	Fritzing, KiCAD	–
SWR –Электрика	Нет	–	–
Ultimaker Cura	Есть	–	–
VERICUT	Нет	–	–
WinRAR	Нет	Ark, File Roller, PeaZIP, Xarchiver	–
Дельта СИ	Нет	–	Российское ПО
Союз PLM	Нет	–	Российское ПО

Так как российские ОС являются представителями семейства Unix подобных систем, с принципиально другой архитектурой и набором компонентов, чем ОС семейства Windows, непосредственный запуск большинства программ для Windows под ними невозможен.

Для запуска или использования программ для Windows под управлением российских ОС существует три способа.

- 1) Использование эмулятора API Win32 – Wine.
- 2) Использование виртуальных машин для виртуализации ОС (Oracle Virtual Box, Xen, KVM).
- 3) Использование ОС Linux в качестве терминала, с запуском программ на сервере с Window (RDS (Remote Desktop Services) или VDI (Virtual Desktop Infrastructure)).

Wine – свободное программное обеспечение, позволяющее пользователям UNIX – подобных операционных систем, исполнять приложения созданные исключительно для Microsoft Windows, без наличия при этом установленной Microsoft Windows. Основная направленность – компьютерные игры.

Однако подавляющее большинство используемого специального ПО не работает с Wine. Были протестированы AutoCAD, SolidWorks, Компас 3D, СоюзPLM, NormaCS.

Примером использования виртуализации является возможность запуска нескольких операционных систем на одном компьютере: при том каждый из экземпляров таких гостевых операционных систем работает со своим набором логических ресурсов (процессорных, оперативной памяти, устройств хранения), предоставлением которых из общего пула, доступного на уровне оборудования, управляет хостовая операционная система – гипервизор.

Многие программы требуют специальной лицензии для работы в виртуальной среде. Требуется лицензия и для Windows. Программы, использующие аппаратное ускорение вывода графики (большинство инженерных программ) работают некорректно. Затруднена работа с периферийными устройствами, подключенными к рабочим местам пользователей.

VDI (Virtual Desktop Infrastructure – инфраструктура виртуальных рабочих станций) представляет собой технологию создания рабочего стола пользователя на одной из виртуальных машин, запущенных на сервере в дата – центре [3].

Терминальный сервер – это мощный компьютер и серверная операционная система, которые позволяют выполнять задачи одновременно нескольких пользователей. Все приложения выполняются на сервере, а пользователь с помощью терминального клиента только видит передаваемое изображение.

- Многие программы требуют специальной лицензии для работы в виртуальной среде.
- Требуется лицензия на Windows и ПО Терминального сервера.
- Программы, использующие аппаратное ускорение вывода графики (большинство инженерных программ), работают некорректно.
- Требуется мощная и дорогая серверная и коммуникационная инфраструктура.
- Затруднена работа с периферийными устройствами, подключенными к рабочим местам пользователей.

Процесс максимизации использования российского ПО и российских ОС на конкретном предприятии, можно разбить на следующие подзадачи:

1) Перевод всего документооборота на кроссплатформенные форматы документов (P7-офис, МойОфис) и российские шрифты.

2) Налаживание контакта с разработчиками ПО и обозначение объемов потребностей в ПО, совместимом с российскими ОС, которое предприятие готово приобрести. Большинство разработчиков ПО частные компании, и готовы на сотрудничество при наличии материальной заинтересованности.

3) В ряде случаев возможно внедрение различных технологий терминального доступа, с использованием российских ОС на АРМ пользователей. Подробнее преимущества и недостатки такого подхода рассмотрены в [3]. Такой подход может потребовать существенного обновления серверной и коммуникационной инфраструктуры.

4) Для рабочих мест, где ОС Windows безальтернативна, заменить все ПО, которое возможно, на российское или открытое.

5) Перевести ПО, разрабатываемое внутри предприятия, на кросс платформенные программные платформы (Qt, Java, Mono, Python)

6) Для программ, имеющих версии с веб интерфейсом, перейти на их использование.

7) При заказе разработки ПО на стороне обговаривать в качестве обязательного требования совместимость с российскими ОС.

Выводы

Исторически сложилось так, что в России разработок баз данных, офисных программ, операционных систем было немного. Сейчас в этих сегментах очень высокий процент применения иностранных продуктов.

В сфере информационных систем уровня предприятия российские разработчики предлагают довольно широкий спектр весьма конкурентных продуктов. Среди сильных сторон отечественного рынка ПО можно отметить следующие: ориентация на российские требования по безопасности, оперативная реакция на запросы рынка и даже конкретных крупных клиентов, регулярный прирост числа IT-специалистов.

Операционные системы являются ядром экосистем, создаваемых всем мировым профессиональным, научным сообществом, энтузиастами и простыми пользователями. Создание такой экосистемы с нуля силами одной страны невозможно при разумных сроках и затратах. Например, стоимость разработки только ядра Linux оценивалась в 2009 году более чем в 1 миллиард евро. Поэтому большинство программных продуктов для АРМ разрабатывается под конкретную экосистему и тесно интегрируется с имеющимися в ней библиотеками, программными продуктами, а также следует ее архитектурным принципам.

Большинство российского ПО интегрировано в экосистему на базе семейства ОС Microsoft Windows. Единственной реальной альтернативой является экосистема на базе ядра Linux, которая не принадлежит ни одной компании и полностью открыта. Но переход на нее требует времени и существенных усилий и затрат со стороны разработчиков.

Подавляющее число информационных систем, используемых на предприятиях ОПК является российским ПО, включенным в реестр. Однако в качестве

платформы практически везде используются решения от Microsoft.

Полный переход на российские ОС на предприятиях ОПК в настоящее время невозможен, в связи с тем, что вся инфраструктура и информационные системы предприятия построены на базе решений от Microsoft. Версии большинства информационных систем под российские ОС или аналоги практически отсутствуют.

Частичный переход на использование российских ОС на АРМ пользователей возможен с использованием терминальных технологий (VDI, RDP). Это потребует существенных затрат на серверную и коммуникационную инфраструктуру, администрирование, приобретение лицензий. Возможны технические проблемы, например, с периферийным оборудованием.

Под российские ОС (являющиеся вариантами ОС Linux) отсутствуют многие классы программ не только российских, но и зарубежных. Самые проблемные категории это инженерное ПО, и узко специализированное ПО поставляющееся с оборудованием.

Основная причина этого – ничтожная доля ОС Linux (~2% в мире) для персональных компьютеров и отсутствие у разработчиков материальной заинтересованности в кросс платформенной разработке.

Литература

1. Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 29.06.2015 № 188 – ФЗ.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2015 г. № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (ред. от 30.03.2019).
3. Кауфман Е.А. Анализ существующих видов терминального доступа и инфраструктуры VDI // Актуальные вопросы экономических наук, 2013. № 34. С. 259-265.
4. Роберт Лав. Ядро Linux: описание процесса разработки = Linux Kernel Development. – 3-е изд. // М.: Вильямс, 2012. 496 с. ISBN 978-5-8459-1779-9.
5. Глава 9.4. «Правила оформления служебных документов» // Справочник офицера // М.: Воениздат, 2017. С. 295. 351 с.
6. [Электронный ресурс]. URL: <https://blogic.ru/> (дата обращения 30.09.2019).
7. [Электронный ресурс]. URL: <https://netmarketshare.com> (дата обращения 30.09.2019 г.).
8. [Электронный ресурс]. URL: reestr.minsvyaz.ru (дата обращения 30.09.2019).

УДК 004.91

**Разработка проблемно-ориентированной интеллектуальной системы
управления и поддержки принятия решений
для образовательных организаций**

С.А. Кручинина, аспирант кафедры математики
и естественнонаучных дисциплин,

Е.В. Ерёмкина, специалист в сфере информационных технологий,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Образовательные организации представляют собой сложную, разветвленную систему, состоящую из множества управляющих подсистем и объектов управления. Разработанная программная модель проблемно-ориентированной интеллектуальной системы управления и поддержки принятия решений для образовательных организаций позволяет на основе использования современных прикладных информационных (компьютерных) технологий обработки информации повысить эффективность управления образовательной организацией как сложной системой.

Интеллектуальная система, управление, поддержка принятия решений, образовательные организации.

**Development of problem-oriented intellectual system of management and
decision support for educational organizations**

S.A. Kruchinina, post-graduate student of the Department of Mathematics
and Natural Sciences,

E.V. Eremina, specialist in the field of information technology,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Educational organizations are a complex, branched system consisting of many control subsystems and control objects. The developed software model of the problem-oriented intellectual system of management and decision support for educational organizations allows on the basis of the use of modern applied information (computer) technologies of information processing to increase the efficiency of management of an educational organization as a complex system.

Intelligent system, management, decision support, educational organizations.

Образовательная организация – некоммерческая организация, осуществляющая на основании лицензии образовательную деятельность в качестве основного вида деятельности в соответствии с целями, ради достижения которых такая организация создана [1].

В данной статье в качестве типовой образовательной организации рассматривается ГБОУ ВО МО «Технологический университет» с его разветвленной структурой, образующей систему, обеспечивающую реализацию образовательного процесса [6].

В исследуемой организации как системе в наиболее общем виде можно выделить следующие ключевые структурные элементы (подсистемы): функциональная подсистема, обеспечивающая подсистема. К функциональной подсистеме целесообразно относить институты (факультеты), включающие профессорско-преподавательский состав кафедр, непосредственно осуществляющих образовательную деятельность. К обеспечивающей подсистеме целесообразно относить отделы (структурные подразделения), осуществляющие организационно-методическую поддержку функциональной подсистемы (рис. 1).



Рисунок 1 – Структура образовательной организации

В основу исследовательских процессов был положен общедоступный метод «системного анализа» (рис. 2), в рамках которого был проведен анализ выбранной образовательной организации как сложной, разветвленной системы, синтез и оценка полученных результатов (управление) [2,3].

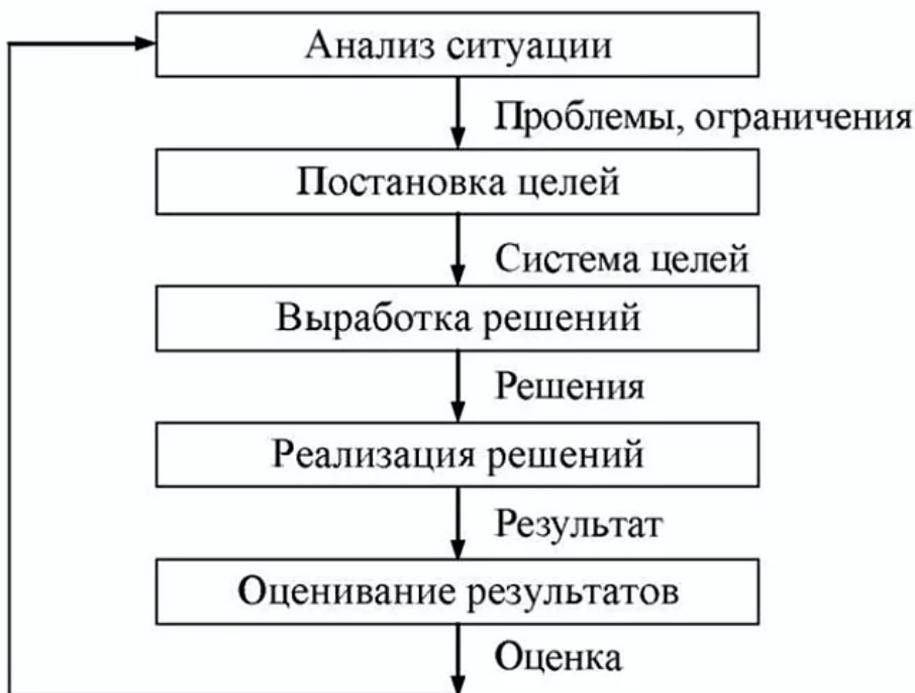


Рисунок 2 – Этапы системного анализа

По результатам анализа образовательной организации как сложной, разветвленной системы на основе адаптированной к данному исследованию методики Домарева [4], были получены результаты, отраженные в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1 – Полученные результаты

Показатели	Подсистемы Университета		Общ
	1	2	
	Коэффициенты важности по направлениям		
	0,5	0,5	
Количественный	0,88	0,81	0,86

Из таблицы 1 видно, что обеспечивающая подсистема в структуре исследуемой образовательной организации имеет определенные недостатки, что негативно отражается на итоговом показателе в целом.

Таблица 2 – Детализация полученных результатов

№ элемента	Перечень показателей	№ элемента матрицы	Требуемый уровень	Достигнутый уровень	Степень выполнения групп требований	Количественная оценка
	m	№	Qтр	Qд	Qгруп	Q
1	1	121	0,87	0,9	0,88	0,86
	2	122	0,87	0,88		
	3	123	0,87	0,87		
	4	124	0,87	0,88		
2	5	221	0,87	0,87	0,81	
	6	222	0,87	0,61		
	7	223	0,87	0,88		
	8	224	0,87	0,88		
3	9	321	0,87	0,87	0,87	
	10	322	0,87	0,87		
	11	323	0,87	0,87		
	12	324	0,87	0,87		
4	13	421	0,87	0,87	0,88	
	14	422	0,87	0,88		
	15	423	0,87	0,9		
	16	424	0,87	0,87		
Условные обозначения: – элементы, ранее не удовлетворявшие требованиям						

Дальнейший более детальный анализ данной сферы (табл. 2) показал, что наиболее «слабым» элементом в структуре исследуемой образовательной организации является методическое обеспечение образовательного процесса это связано, прежде всего, с отсутствием специализированных инструментов, позволяющих эффективнее управлять данными процессами. Данный вывод подтверждается и тем, что, например, в учебно-методическом управлении для разработки и утверждения учебных планов, как элементов методического обеспечения образовательного процесса, имеется специализированный программный инструмент – информационная система «Планы», в то время как в подразделении, оказывающем методическую поддержку профессорско-преподавательскому составу кафедр в части разработки образовательных и рабочих программ, таких инструментов нет.

В качестве возможного направления решения выявленной проблемы предлагается применение в образовательном процессе разрабатываемой проблемно-ориентированной интеллектуальной системы управления и поддержки принятия решений. Прежде всего, данная система ориентирована на оказание помощи

профессорско-преподавательскому составу Университета в разработке, как рабочих программ отдельных дисциплин, так и профессиональной образовательной программы в целом в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта.

Применение подобной интеллектуальной системы [5] в образовательной организации позволит повысить эффективность управления последней за счет применения заложенных, а также накопленных в процессе эксплуатации знаний; а также оказать помощь профессорско-преподавательскому составу кафедр и, как следствие – повысить качество нормативно методического обеспечения образовательного процесса.

Отличительной особенностью многих современных образовательных организаций, в частности и исследуемой, является высокая степень загруженности профессорско-преподавательского состава не только аудиторной работой, но и методической. Как показывает практика, профессорско-преподавательский состав кафедр работает на 1,5 ставки и, зачастую, не в одной образовательной организации. Что, в свою очередь, как правило, негативно отражается как на качестве нормативно-методического сопровождения дисциплин и модулей, так и образовательного процесса в целом.

Важно отметить, что при разработке профессиональных образовательных и рабочих программ требуется соблюсти и грамотно прописать ряд требований как федерального государственного стандарта (материально-техническое, кадровое, финансовое обеспечение), так и продемонстрировать компетентностный подход, выдержанность по количеству часов и способам проведения занятий.

В целях оказания помощи профессорско-преподавательскому составу кафедр в Университете существует структурное подразделение – Отдел методического обеспечения основных образовательных программ, занимающийся формированием с учетом всех вышеизложенных требований шаблонов документов, которые должны быть разработаны профессорско-преподавательским составом, оказывает методическую поддержку последним и осуществляет проверку полного комплекта разработанных документов. Тем не менее, весь объем работ и ответственность за грамотное составление необходимого комплекта документов по-прежнему лежит на профессорско-преподавательском составе (далее – ППС) кафедр.

Основной проблемой, с которой приходится столкнуться ППС на практике, является необходимость составления аннотированной части профессиональной образовательной программы. Как правило, учебный план содержит порядка 70 наименований дисциплин, по каждой из которых необходимо составить аннотацию: продемонстрировать компетентностный подход, грамотно прописать часы, аудиторную и самостоятельную работу и т.д. Учитывая, что большинство федеральных государственных образовательных стандартов предусматривает необходимость наличия не только основной, но и адаптированной профессиональной образовательной программы, объем работ для ППС увеличивается фактически в 2 раза. Таким образом, при существующей степени загруженности ППС особую роль играет так называемый человеческий фактор, в результате чего при проверке разработанного комплекта документов обнаруживается множество ошибок и неточностей.

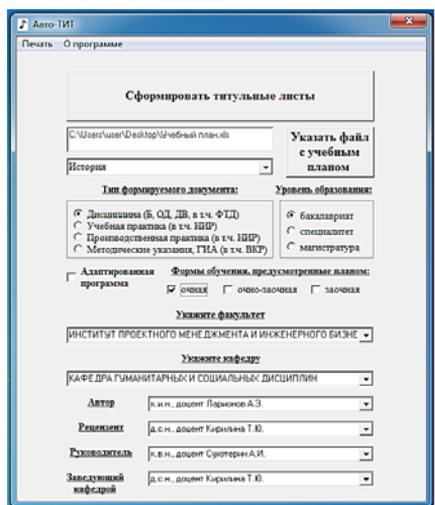
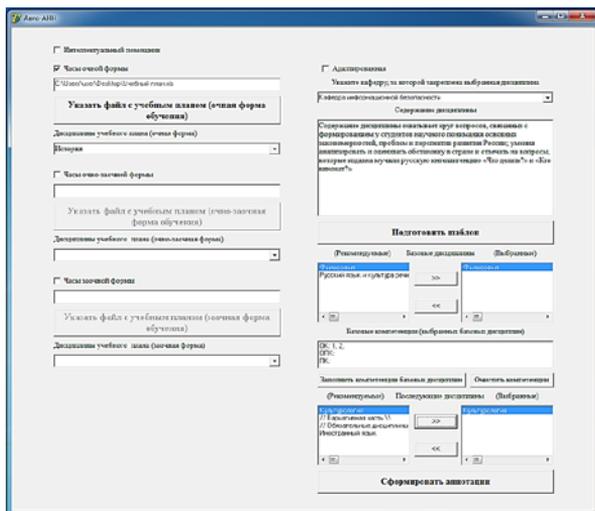


Рисунок 3 – Интерфейс модуля формирования титульных листов рабочих программ

В интересах решения данных проблем была разработана проблемно-ориентированная интеллектуальная системы управления и поддержки принятия решений. На данный момент в рамках разработки указанной системы уже имеются модули, формирующие титульные листы рабочих программ (рис. 3) и формирующие аннотированную часть профессиональной образовательной программы (рис. 4).



Аннотация рабочих программ дисциплин в соответствии с учебным планом подготовки бакалавров по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность»

Блок 1.8. Вариативная часть

Б.О.Д.03 «История»

Дисциплина «История» относится к обязательным дисциплинам вариативной части основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность».

Дисциплина реализуется кафедрой информационной безопасности.

Изучение данной дисциплины базируется на ранее изученных дисциплинах: «Обществоведение» и компетенциях ОК-1, 2.

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций: ОК-3 – способность интегрировать межкультурно-разносторонние аспекты в социально-историческом, лингвистическом и фило-софическом контекстах.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с формированием у студентов научного понимания основных закономерностей, проблем и перспектив развития России, умения анализировать и оценивать обстановку в стране и внешне, которые издавна мучили русскую интеллигенцию «Что делать?» и «кто виноват?».

Степень трудоемкости освоения дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч. Преподвание дисциплины ведется на 1 курсе во 2 семестре для очной формы обучения, и предусматривает проведение учебных занятий следующих видов: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающихся, групповые и индивидуальные консультации.

Программой предусмотрены следующие виды контроля: два текущих контроля успеваемости в форме тестирования и промежуточная аттестация в форме зачета для очной формы обучения.

Задачи и компетенции, получаемые при освоении дисциплины, являются базовыми для изучения последующих дисциплин: «Культурология», прохождения практики, государственной итоговой аттестации и выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра.

Рисунок 4 – Интерфейс модуля формирования аннотированной профессиональной образовательной программы

Данная система помогает корректно заполнять основные элементы образовательных и рабочих программ (титульные листы, почасовая нагрузка, компетенции, формы контроля и так далее). Для работы с необходимо иметь учебный план (переведенный в формат .xls или .xlsx; в системе «Планы» предусмотрена возможность такого перевода). Далее на форме необходимо заполнить (из выпадающего списка или отметить галочкой) соответствующие поля и нажать кнопку запуска процесса.

Для работы с модулем формирования титульных листов (рис. 3) рабочих программ пользователю необходимо иметь в наличии только учебный план (в случае реализации нескольких форм обучения (очная, очно-заочная или заочная), достаточно указать любой из планов). Затем необходимо отметить из предложенных в соответствующих полях на форме «Тип формируемого документа», «Уровень образования», указать реализуемые формы обучения. Из выпадающих списков также необходимо выбрать соответствующие институт (факультет) и кафедру, указать автора; рецензента; руководителя образовательной программы, для которого формируется документ; заведующего кафедрой. В случае формирования титульных листов адаптированной рабочей программы, необходимо поставить галочку в соответствующем поле на форме (по умолчанию модуль формирует титульные листы основной рабочей программы). По завершении заполнения всех необходимых полей, кнопка «Сформировать титульные листы» станет активной и ее необходимо будет нажать, чтобы запустить соответствующий процесс. Итогом работы модуля является сформированный документ в формате .docx. Кроме того, данный модуль оснащен справочной информацией «О программе», которая содержит краткое руководство пользователя; а также модуль оснащен функцией подачи на печать сформированных титульных листов.

Для работы с модулем формирования аннотированной профессиональной образовательной программы пользователю также необходимо иметь в наличии только учебные планы одной или нескольких соответствующих форм обучения (очная, очно-заочная или заочная). В случае формирования адаптированной аннотированной профессиональной образовательной программы, необходимо поставить галочку в соответствующем поле на форме (по умолчанию модуль формирует аннотированную основную профессиональную образовательную программу). Далее на форме необходимо выбрать из выпадающего списка кафедру, за которой закреплена дисциплина, и прописать ее содержание. Затем, по нажатию кнопки «Подготовить шаблон» модуль начнет формирование предварительной аннотированной программы и предложит пользователю указать базовые и последующие дисциплины (окажет поддержку в демонстрации компетентностного подхода при формировании аннотации). После заполнения всех необходимых полей, кнопка «Сформировать аннотации» станет активной и ее необходимо будет нажать, чтобы запустить соответствующий процесс. Итогом работы модуля является сформированный документ в формате .docx. В случае возникновения трудностей с заполнением формы, модуль оснащен так называемым «интеллектуальным помощником», который поможет с заполнением формы посредством диалогового режима.

К достоинствам разрабатываемой системы целесообразно отнести снижение временных затрат на разработку комплекта документов; снижение вероятно-

сти ошибок; повышение качества методического обеспечения образовательного процесса за счет оказания всесторонней помощи ППС кафедр в формировании необходимого комплекта документов в соответствии с требованиями.

Вероятным недостатком данной системы можно считать некую избыточность кода, которая объясняется нахождением системы на этапе разработке и которая в дальнейшем будет устранена.

Таким образом, в дальнейшем в рамках совершенствования разрабатываемой проблемно-ориентированной интеллектуальной системы управления и поддержки принятия решений для образовательных организаций планируется внедрение модулей, отвечающих за:

1. Оказание помощи ППС в формировании литературы (основной и дополнительной), необходимой для изучения дисциплины в соответствии с книгообеспеченностью (взаимодействие с библиотечной системой);
2. Оказание помощи ППС в формировании содержания изучаемой дисциплины, а также распределении учебной нагрузки по ней; грамотном указании места дисциплины в структуре профессиональной образовательной программы.

Помимо перечисленных модулей, также планируется разработка модуля проверки правильности формирования полного комплекта документов (профессиональной образовательной и рабочих программ).

Литература

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ.
2. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ // М.: Дашков и К. 2016.
3. Корнев Г.Н., Яковлев В.Б. Системный анализ // М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М. 2016.
4. Салманова И.П., Кузнецова О.И., Кручинина С.А., Булат А.С. Построение экспертной системы оценки экономической эффективности инвестиций в информационную безопасность // Вопросы региональной экономики, № 4(37). 2018.
5. Сухотерин А.И., Ерёмин Е.В., Кручинина С.А. Современные тенденции развития искусственного интеллекта: накопленный опыт, проблемные вопросы и перспективы // Информационно-технологический вестник, № 4(18). 2018.
6. Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет» [Электронный ресурс]. URL: <https://unitech-mo.ru/> (дата обращения 05.10.2019).

УДК 628.12

Система интеллектуального управления водоснабжением объектов растениеводства

Д.Ю. Поленов, доцент кафедры «Автоматизация и электроснабжение», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Предлагается решение задачи достижения максимального значения продуктивности объектов растениеводства путем разработки системы интеллектуального управления водоснабжением. Отличительной особенностью разрабатываемой системы является наличие в ней искусственного интеллекта, на основе которого принимаются решение о включении водоснабжения растений, его объеме. Приводятся различные факторы, влияющие на урожайность и рост растений. Факторы рассматриваются, как входящие сигналы для математических нейронов искусственного интеллекта. Приведена схема нейросети искусственного интеллекта системы, ее топология, построена соответствующая математическая модель.

Система управления водоснабжением, искусственный интеллект, водоснабжение объектов растениеводства.

The system of intelligent management of water supply of plant growing objects

D.Yu. Polenov, associate Professor of «Automation and power supply», Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow

A solution is proposed to achieve the maximum value of the productivity of plant growing objects by developing a system of intelligent water supply management. A distinctive feature of the developed system is the presence of artificial intelligence in it, on the basis of which a decision is made to include water supply to plants, its volume. Various factors affecting crop yields and plant growth are presented. Factors are considered as incoming signals for mathematical neurons of artificial intelligence. The scheme of the neural network of the artificial intelligence of the system, its topology, the corresponding mathematical model is constructed

Water supply management system, artificial intelligence, water supply of plant growing objects.

Актуальность задачи

Одной из актуальных задач сферы сельского хозяйства является достижение максимальных значений роста и урожайности растений, а значит их продуктивности. На продуктивность растений влияет большое количество факторов. Один комплекс факторов можно без труда регулировать (водоснабжение, аэрация и влажность почвы), другой комплекс – регулировать с трудом, используя боль-

шие энергозатраты (влажность воздуха, кислотность почвы, температура окружающей среды, освещенность), а третий – наличие и объем снежного покрова, продолжительность безморозного периода, сумма осадков, их распределение по месяцам – максимально компенсировать с помощью регулирования первого и второго комплексов факторов. Известно, например, что продуктивность не страдает, если снизить объем полива при одновременном снижении температуры окружающей среды и т.д. Сказанное позволяет сделать вывод, что достижение максимального значения продуктивности объектов растениеводства с учетом воздействующих факторов является достаточно сложной задачей.

Описание решения задачи

Такая задача может быть решена с помощью разработки соответствующей системы с интеллектуальным управлением. Разрабатываемая система должна быть адаптирована к особенностям среды (территории, области, краю) проживания растений, круглый год следить за погодными условиями, принимать и обрабатывать информацию прогноза погоды от гидрометцентра и т.п. Иными словами, работа системы должна быть основана на принципе полива растений таким объемом воды, который им необходим. Это может быть выполнено путем выполнения алгоритма, состоящего из следующих действий:

- 1) записи в память при вводе в эксплуатацию системы информации в части необходимого объема водоснабжения каждого растения;
- 2) получения системой экспериментальной информации (в том числе от датчиков) в части необходимого объема водоснабжения каждого растения по результатам значения продуктивности за отчетный период;
- 3) получения информации прогноза погоды об объеме осадков в виде дождя, как в режиме реального времени, так и суммарно по месяцам, временам года и т.д.;
- 4) разделения участка нахождения объектов, содержащего разные сельскохозяйственные культуры, по зонам водоснабжения;
- 5) обработки вышеуказанных данных;
- 6) принятии решения о водоснабжении отдельной растительной зоны объекта.

Анализируя вышесказанное, очевидно, что подобная система должна обладать интеллектом, в современности именуемым - искусственным. Известно, что системы с искусственным интеллектом (ИИ) отличаются своей способностью накапливать знания и на их основе принимать решения [1, 2], что показано на рисунке 1.

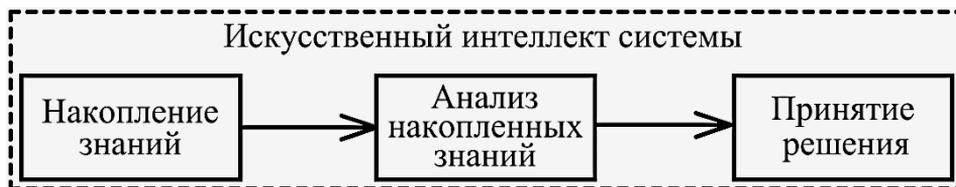


Рисунок 1 – Схема принципа работы системы с ИИ

ИИ применяется в медицине (на основе наблюдения за пациентом можно установить его диагноз), криминалистике (настраиваемые детекторы лжи: на основе подключенных датчиков, следящих за пульсом, давлением, потовыделением и др. свойствами человека можно определить – говорит он правду или ложь [6, с.

34]), диагностике неисправностей технических объектов (анализ показаний установленных на объекте датчиков позволяет выявить произошедший дефект) и т.п. [7, с. 47]. Если коснуться объектов растениеводства в части их водоснабжения, то здесь необходимо принимать решения следующего характера: включить/выключить подачу воды, уменьшить/увеличить объем ее подачи и др. Если такие решения будут своевременны (основаны на показаниях датчиков влажности почвы, температуре, свойствах используемой воды, ее расходе на каждую культуру и др.), то повысится рост и урожайность растений.

В таблице 1 приведены ориентировочные данные для анализа ИИ, на основе которых будет приниматься решение о водоснабжении объектов растениеводства.

Объяснив суть и необходимость разработки и внедрения ИИ в систему водоснабжения объектов растениеводства, кратко опишем принципы его организации. Как известно, существует два основных подхода применяемых при создании систем, содержащих ИИ: создание экспертных систем [8, с. 24] и применение нейросетевых технологий [2]. Как правило, водоснабжением объектов растениеводства занимается непосредственно человек – он либо поливает свой участок вручную (рисунок 2а)), либо включает имеющуюся в распоряжении систему полива (рисунок 2б)). В связи с этим в системе водоснабжения будут рассматриваться особенности применения ИИ на основе нейросетевых технологий – системы с ИИ по образу и подобию человеческого мозга.

Таблица 1 – Накопленные знания для анализа ИИ

Информация от датчиков	Постоянная память	Информация гидрометцентра
1. Давление. 2. Освещенность. 3. Влажность воздуха. 4. Наличие осадков. 5. Температура окружающей среды. 6. Кислотность почвы. 7. Влажность почвы. 8. Жесткость воды.	1. Зависимости кислотности почвы, температуры окружающей среды, влажности почвы, давления, освещенности	1. Прогноз погоды. 2. Направление и скорость ветра. 3. Распределение осадков по месяцам.



а)



б)

Рисунок 2 – Варианты полива растений: а) ручной и б) автоматизированный

Ядром ИИ такой Системы будем считать математический нейрон [3] – объект, представляющий собой математическую модель нейрона человеческого мозга. Он будет обладать схожими свойствами: содержать входы i , куда будут поступать входные сигналы x_{ij} и один выход y_j .

При этом каждый поступающий на j -й математический нейрон сигнал x_{ij} будет умножаться на некоторый корректирующий весовой коэффициент b_{ij} (1):

$$S_j = \sum_{i=1}^i b_{ij}x_{ij}, \quad (1)$$

Выходной сигнал y_j j -го математического нейрона будет принимать одно из двух значений (2) и (3):

$$y_j = 1, \text{ если } S_j \geq \theta_j; \quad (2)$$

$$y_j = 0, \text{ если } S_j < \theta_j, \quad (3)$$

где θ_j – порог чувствительности j -математического нейрона.

Таким образом, если полученное суммарное значение S_j j -го математического нейрона системы водоснабжения не достигнет определенного значения порога чувствительности θ , то математический нейрон не будет возбужден – его выход будет равен нулю, и наоборот [4, с. 78; 5].

На основе (1)-(3) можно построить пороговую активационную функцию [7, с. 38] j -го математического нейрона для его выхода y_j (рисунок 3). На рисунке видно, что после принятия входных сигналов x_{ij} , помноженных на корректирующие коэффициенты b_{ij} , вычисляется взвешенная сумма входных сигналов S_j , и на основе ее значения принимается решение о выходном значении y_j j -го математического нейрона. Стоит отметить, что значения корректирующих коэффициентов будут со временем меняться (4):

$$b_{ij}(t + 1) = b_{ij}(t) + \Delta b_{ij}, \quad (4)$$

где $b_{ij}(t + 1)$ – новое значение корректирующего коэффициента, $b_{ij}(t)$ – старое значение корректирующего коэффициента. Природа изменения коэффициентов Δb_{ij} будет зависеть от объема и качества полученной в конце отчетного периода продуктивности растений.

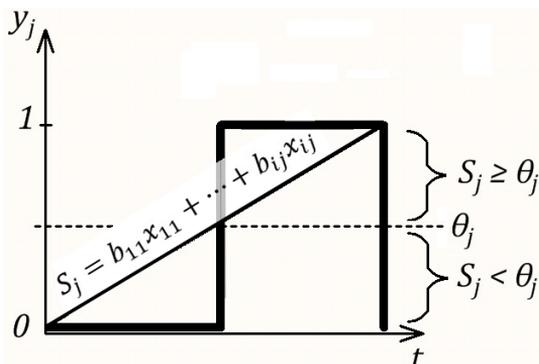


Рисунок 3 – Пороговая активационная функция

В качестве сигналов, поступающих на входы x_{ij} j -го математического нейрона в Системе будут использоваться выходные значения датчиков, входящих

в ее состав. К таким датчикам относятся:

- датчики давления и температуры, которые будут следить за текущими значениями атмосферного давления и температурой окружающей среды (TI);
- датчик освещенности участка, который будет показывать уровень освещенности растений (LI);
- датчик наличия осадков, который будет фиксировать наличие осадков в виде дождя/снега (SI);
- датчики влажности почвы, которые будут следить за текущими значениями влажности на участке корневища растения (WI).

Кроме датчиков, на входы математических нейронов будет поступать информация от гидрометцентра, содержащая данные о приближающихся осадках: ориентировочное время выпадения, длительность воздействия.

На рисунке 4 представлена нейронная сеть ИИ системы: к j -му математическому нейрону ИИ подключаются все «органы чувств» (датчики LI , SI , TI , WI – W_j) и формируются выходные команды на электромагнитные клапаны (KI – K_j) включения/выключения подачи воды на участки водоснабжения, где посажены растения.

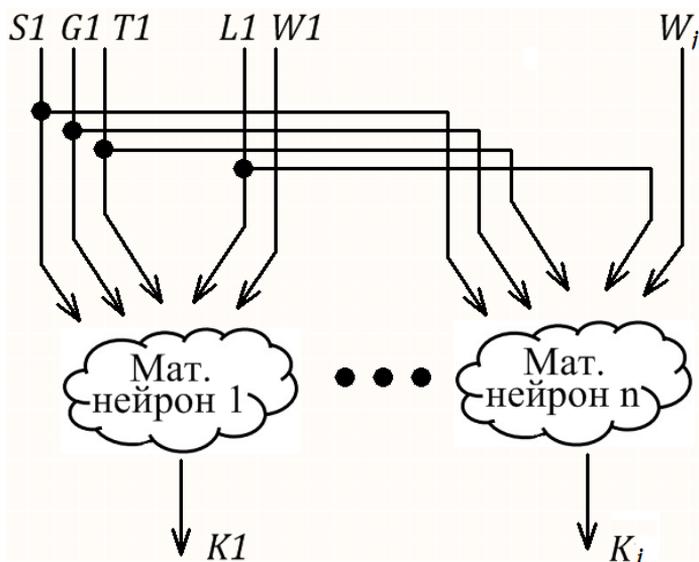


Рисунок 4 – Нейронная сеть системы

Структурная схема системы приведена на рисунке 5. В состав системы входят: бак, насос, блок сбора и управления, датчики, клапаны, трубы. Бак необходим для сбора и хранения воды, которая будет поступать либо в виде осадков, либо из системы водопровода. Насос осуществляет подачу воды. Блок сбора и управления осуществляет:

- 1) управление всеми составными частями системы (включением/выключением насоса для подачи воды, клапаны для определенных участков полива);
- 2) сбор информации с датчиков (температуры, влажности и пр.);

3) сбор и обработку информации от гидрометцентра.

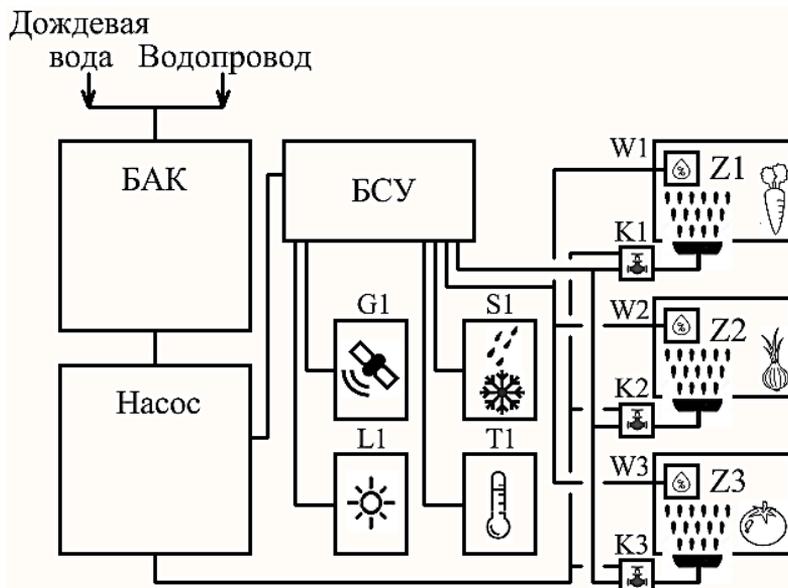


Рисунок 5 – Структурная схема системы

Одной из отличительных особенностей программного обеспечения системы будет являться возможность расчета количества источников полива, их расположения, радиуса действия, объема устанавливаемой емкости для хранения воды от исходных данных потребителя. А именно: потребитель будет вводить значения площадей посадки каждой с/х культуры и общую площадь участка, после чего программа будет производить указанный выше расчет.

Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- 1) предложено решение задачи достижения максимального значения продуктивности объектов растениеводства с учетом различных факторов, влияющих на рост и урожайность растений. Предлагается ее решение с помощью внедрения искусственного интеллекта в систему водоснабжения объектов растениеводства;
- 2) разработана организация искусственного интеллекта системы водоснабжения объектов растениеводства на основе нейросетевых технологий;
- 3) разработан алгоритм работы системы управления водоснабжением на основе искусственного интеллекта, разработана топология водоснабжения объектов растениеводства с разделением всего участка полива на зоны.

Литература

1. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems // The University of Michigan Press, 1975.
2. Winston P.H. (1984). Artificial Intelligence, second edition. Reading, MA: Addison-Wesley.

3. Hopfield J.J. Neurons with graded response have collective computational properties like thous of two-state neurons. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1984. № 81.
4. Minsky M., Seymour P. Perceptrons; An Introduction to Computational Geometry // MIT Press, 1969.
5. Rosenblatt F. The perseptron: a probalistic model for information storage and organization in the brain // Psychological Review, 1958. V. 65.
6. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке // М.: Наука, 1982.
7. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.Н. Ясницкий. – 2-е изд., испр. // М.: Издательский центр «Академия», 2008. 176 с.
8. Искусственный интеллект. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы / Под ред. Э.В. Попова // М.: Радио и связь, 1990.

УДК 629.7

**Функциональные возможности и конструктивные особенности
оптических разъемов LC для современных
инфокоммуникационных систем**

А.Б. Семенов, доктор технических наук, профессор,
НИУ Московский государственный строительный университет,
МГСУ, г. Москва,

Т.С. Аббасова, кандидат технических наук, доцент,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Исследованы типы обслуживаемых разъемами оптических волокон, различные варианты конструкции вилок оптических разъемов, основные конструктивные элементы вилки соединителя, особенности дизайна вилки разъема LC, организационно-технические мероприятия для изготовления вилок различной конструкции; на основе анализа областей применения оптических волокон показаны разнообразные длинные тяги для вилок, необходимые при высокой плотности портов коммутационных устройств.

Волоконно-оптический кабель, компоненты оптического разъема, управление каналом, схема монтажа, элементы крепления.

**Functionality and design features of LC optical connectors
for modern infocommunication systems**

A.B. Semenov, Doctor of Engineering Science, professor,
Moscow State University of Civil Engineering, MGSU, Moscow,

T.S. Abbasova, Ph.D., assistant professor,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The types of optical fibers serviced by the connectors, various design options of the plugs of the optical connectors, the main structural elements of the plug of the connector, the design features of the plug of the LC connector, organizational and technical measures for the manufacture of plugs of various designs are investigated; Based on the analysis of the applications of optical fibers, a variety of long traction for plugs is shown, which are necessary for a high density of ports of switching devices.

Fiber optic cable, optical connector components, channel control, mounting diagram, mounting elements.

Введение

Физический уровень современных волоконно-оптические систем отличается высокой плотностью портов коммуникационного оборудования [1-5]. Порты

такого оборудования на основании действующих стандартов реализуют на основе соединителя LC. Несмотря на длительный срок серийного производства этого компонента он имеет достаточно большие резервы для дальнейшего совершенствования, которые рассмотрены далее.

Разъемный соединитель LC (от англ. Link Control – управление каналом связи) состоит из двух компонентов: вилки и розетки, на каждом из которых можно выделить переднюю и заднюю части. Передняя часть вилки непосредственно взаимодействует с установочным гнездом розетки и для обеспечения совместимости продукции различных производителей имеет стандартизованную форму с жесткими допусками на геометрические размеры. Задняя часть корпуса не входит в гнездо, за счет чего его форма у разных изделий может заметно отличаться в зависимости от области применения, решаемой задачи, технологических возможностей предприятия и других аналогичных факторов. LC как технически сложное высокотехнологичное изделие обеспечивает параметры тракта передачи оптического сигнала, удовлетворяющие современным и перспективным требованиям.

Разновидности LC как оптического соединителя

LC может устанавливаться на все типы оптических волокон (одномодовые, многомодовые, кварц-полимерные, пластиковые) и относится к классическим разъемам контактного типа. Принцип действия этих изделий основан на обеспечении непосредственного взаимодействия соединяемых оптических волокон (ОВ) без промежуточных элементов и использования иммерсионных жидкостей в области взаимодействия оптически активных компонентов. Основные варианты контактного соединения представлены на рисунке 1.

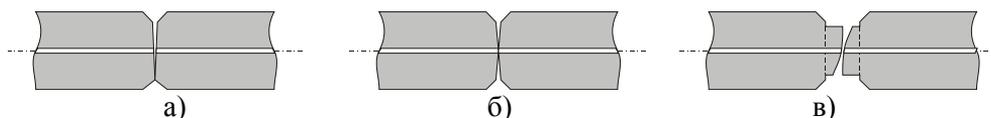


Рисунок 1 – Формы торцевой поверхности и особенности взаимодействия армирующих наконечников вилок оптических разъемов в собранном состоянии: а) плоская соединителей первых поколений; б) выпуклая классов PC, Super PC, Ultra PC; в) скошенная или угловая (Angled PC)

В зависимости от типовой области эксплуатации вилки (коннекторы) делят на две большие группы:

- JC-connector (от англ. Jumper-connector – перемычка-разъем) изначально рассчитан на установку на шнуровой кабель и снабжен для этого соответствующими элементами крепления к его упрочняющим оболочкам; обычно содержит хвостовик для ограничения радиуса изгиба кабеля в месте его входа в корпуса;
- BTW-connector (от англ. behind-the-wall – застенный) с уменьшенной длиной не имеет элементов крепления к упрочняющим оболочкам, рассчитан на установку только на ОВ во вторичном защитном буферном покрытии и предназначен для применения внутри коммутационного устройства.

Соответственно, они рассчитаны на установку на конкретные группы кабелей, которые в схематической форме показаны на рисунке 2.

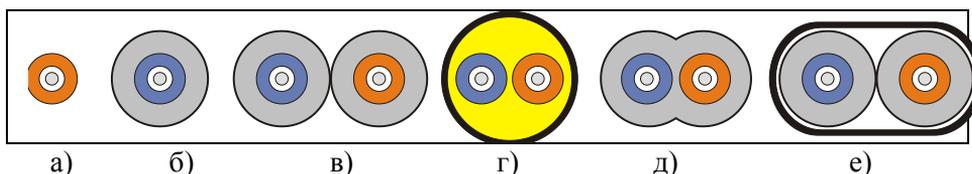


Рисунок 2 – Разновидности кабелей, которые армируются вилками LC: а) волокно во вторичном буферном покрытии; б) симплексный кабель; в) дуплексный кабель типа zip-cord; г) круглый дуплексный кабель; д) кабель типа duplex+; е) кабель в исполнении heavy duty

ВТW-connector в сочетании с ОВ во вторичном буферном покрытии диаметром 900 мкм, рисунок 2 а, предназначен для изготовления монтажных шнуров или пигтейлов. Такие изделия из-за недостаточного уровня защиты от механических воздействий могут эксплуатироваться только внутри корпуса коммутационного устройства.

Симплексные кабели, рисунок 2 б, с нормальным защитным шлангом внешним диаметром 2-3 мм используются

- совместно с различным тестирующим оборудованием;
- при подключении активного сетевого оборудования сетей доступа по технологии PON (от англ. Passive optical network – пассивная оптическая сеть).

Типовые дуплексные шнуровые кабели могут иметь структуру zip-cord, рисунок 2 в или классифицироваться как круглые, рисунок 2 г.

Кабели с усиленной оболочкой (рисунок 2 д и рисунок 2 е) создавались для подключения терминального оборудования проектов «FTTD-волокно до рабочего места» (от англ. Fiber to the desktop – оптическое соединение внутри здания в основной компьютерной комнате в терминале или в медиаконвертере близ рабочего стола клиента). Опыт эксплуатации показал избыточность их защищенности, что в сочетании с малой популярностью проектов FTDP (от англ. Fiber To The Distribution Point – волокно до точки распределения) привело к практически полному вытеснению таких изделий из массовой практики реализации проектов.

Имеются также конструкции с дополнительными цепями для решения различных сервисных задач.

Розетки, аналогично вилкам, также могут быть разделены на две части. Для определенности считается, что передняя часть образует пользовательский интерфейс, а задняя находится внутри корпуса коммутационно-разделочного устройства. С учетом этой особенности передняя «половинка» приобретает самостоятельное практическое значение. Ее используют в следующих случаях:

- при конструировании интерфейсной части оптических модулей типов SFP (от англ. Small Form-factor Pluggable – промышленный стандарт модульных компактных приёмопередатчиков (трансиверов), используемых для передачи и приема данных в телекоммуникациях) и аналогичных им;
- для создания интерфейса разнообразных измерительных и тестирующих устройств в фиксированном варианте их исполнения;
- как средство формирования нужного типа интерфейса в т.н. универсальных адаптерах.

По области применения различают LC для использования в офисных и

иных информационных системах. Согласно классификации МІСЕ изделия для использования в нормальных офисных условиях относятся к классу МІСЕ1. Имеется также большой выбор серийных разъемов с увеличенным вплоть до МІСЕ3 уровнем защиты от влияющих факторов окружающей среды, которые предназначены для инфокоммуникационно-телекоммуникационных систем (ИТС) промышленного назначения.

LC-mini и его свойства

Обозначение LC-mini относится только к дуплексному соединителю. От базового варианта это изделие отличается сближенной установкой отдельных вилок. Расстояние между осями наконечников (англ. ferrule pitch) уменьшено на 1 мм: вместо исходных 6,25 мм (1/4 дюйма) оно составляет 5,25 мм. Сближенная установка отдельных вилок в LC-mini позволила уменьшить площадь миделя примерно на 15%. По внешнему виду очень схож с обычным дуплексным LC. Из-за сложности визуального опознавания изделия, что вызвано малым отличием межцентровых расстояний отдельных вилок, LC-mini часто снабжают держателем отдельных коннекторов дуплексной вилки, цвет которого контрастирует с цветом остальных корпусных компонентов.

Известно предложение узла сборки одиночных коннекторов в дуплексную вилку, которая позволяет менять расстояние между осями наконечников прямо в процессе текущей эксплуатации [6]. Для этого применен удлиненный симметричный фиксатор с двумя парами ложементов под хвостовики симплексных коннекторов, который показан на рисунке 3. Из рисунка 3 видно, что расстояние между осями отдельных укладочных ложементов отличается на 1 мм. Для перехода от LC к LC-mini и обратно необходимо открыть и разобрать корпус фиксатора, снять симплексные вилки с ложементов оправки, развернуть оправку на 180°, уложить в установочные гнезда ложементов симплексные вилки и собрать корпус дуплексной вилки.

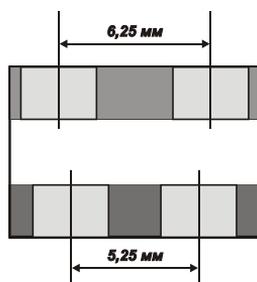


Рисунок 3 – Универсальная оправка для сборки симплексных вилок в дуплексную вилку LC и LC-mini

LC-mini пользуется определенной популярностью на практике, встречается как серийная каталожная позиция некоторых производителей оптической коммутационной техники как в США, так и в Европе. В связи с довольно невысоким выигрышем по плотности компоновки по степени распространения заметно уступает обычному LC.

Некоторый интерес роста к LC-mini обозначился после 2015 года в связи с разработкой активных оптических моделей систем связи со скоростями свыше 100 Гбит/с. Так в [7] LC-mini использован в качестве прототипа для создания оп-

тического интерфейса модулей QSFP (от англ. Quad Small Form-Factor Pluggable – промышленный стандарт для компактных приёмопередатчиков (трансиверов), используемых для передачи данных и в телекоммуникациях, обычно для подключения используется оптический кабель, оконцованный разъёмом типа LC). Главное отличие предлагаемой вилки заключается в переходе на моноблочный корпус, в который вмонтированы два наконечника диаметром 1,25 мм. Элемент фиксации на основе защелки не меняется, что позволяет сохранить преимущество с вилками традиционного дизайна.

Конструкция LC

В своей канонической форме вилка LC содержит следующие элементы:

- центрирующий наконечник с диаметром 1,25 мм, который монтируется в корпусе по плавающей схеме;
- пластиковый корпус размером 5×5 мм и со скругленными переходами между гранями, снабженный интегральной фиксирующей защелкой рычажного типа;
- нажимную пружину, обеспечивающую надежный физический контакт оптически активных поверхностей ОВ в центрирующих наконечниках;
- защитную трубку, обеспечивающую механическую развязку нажимной пружины и защитного покрытия армируемого волокна от непосредственного взаимодействия;
- заднюю стенку корпуса, удерживающую отдельные компоненты разъема в собранном состоянии;
- защелку рычажного типа для удержания вилки в розетке в рабочем состоянии.

Остальные компоненты, в т.ч. получившие массовое распространение на практике, относятся к опциональным. Таковыми являются хвостовики, защитные элементы свободного конца рычага, противопылевые колпачки и аналогичные им элементы.

Основные конструктивные элементы вилки соединителя в схематической форме изображены на рисунке 4.

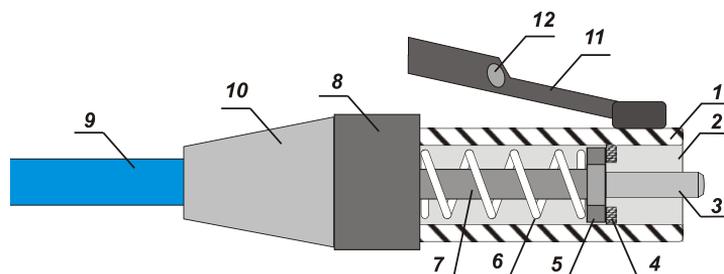


Рисунок 4 – Основные конструктивные элементы вилки LC классического дизайна: 1 – корпус; 2 – установочное гнездо; 3 – центрирующий наконечник; 4 – упор для оправки наконечника; 5 – оправка наконечника; 6 – нажимная пружина; 7 – защитная трубка; 8 – заглушка; 9 – оптический кабель; 10 – хвостовик; 11 – рычаг защелки; 12 – рабочий элемент защелки

Пара одиночных вилок образует дуплексное изделие. Для связи вилок между собой используются разнообразные элементы, наблюдается также большое разнообразие в области решений задачи одновременного воздействия на фикси-

рующие защелки при отключении вилки от розетки. Кроме прорезей под защелки заглушки в задней части корпуса предусмотрены два симметричных боковых упора, задающие штатное положение фиксирующей оправки.

Армирующий наконечник

Наконечник предназначен для фиксации в нем волокна и используется для взаимного выравнивания световодов в розетке в собранном состоянии разъема. Наконечник имеет классическую конструкцию и обычно изготавливается из керамики. Встречаются также более дешевые металлические наконечники.

Наконечник не является обязательным компонентом вилки и отсутствует у изделий, которые предназначены для установки на полимерные световоды.

Плавающий армирующий (центрирующий) наконечник LC удерживается в переднем положении нажимной пружиной и почти полностью скрыт в пластиковом корпусе. Нажимная пружина обычно имеет цилиндрическую форму, в [8] для наконечников, упорная шайба которых снабжена длинным хвостовиком, предлагается устанавливать пружины с коническим расширением в области ее контакта с упорной юбкой.

Наконечник снабжен отверстием для армируемого световода. Типовой диаметр отверстия для многомодовых ОВ составляет $127+2$ мкм, для одномодовых волокон с более жесткими допусками для достижения требуемого уровня вносимых потерь диаметр установочного отверстия уменьшается до $126+1$ мкм.

Конструкция наконечника допускает его плавное или дискретное вращение вокруг своей оси (в зависимости от исполнения разъема). Необходимость этой операции возникает в прецизионных соединителях с экстремально низкими потерями, а также при оконечивании волоконных световодов с сохранением поляризации передаваемого оптического излучения [9].

Нажимная пружина своим передним концом упирается в выступ оправки наконечника, а ее задний конец удерживается в рабочем положении концевой пластиковой заглушкой гнезда корпуса вилки (англ. stopper). Последняя достаточно часто представляет собой продолжение хвостовика и обычно монтируется на защелках. Рабочие элементы защелки обычно входят в два сквозных прямоугольных отверстия, которые предусмотрены на боковой поверхности задней части корпуса.

Торцевая поверхность наконечника снабжена фаской. В свободное пространство между двумя фасками, которое дополнительно увеличивается выпуклой формой наконечника для образования надежного физического контакта сращиваемых ОВ, сдвигаются загрязнения, попавшие на внутреннюю поверхность трубки центратора, как показано на рисунке 5.

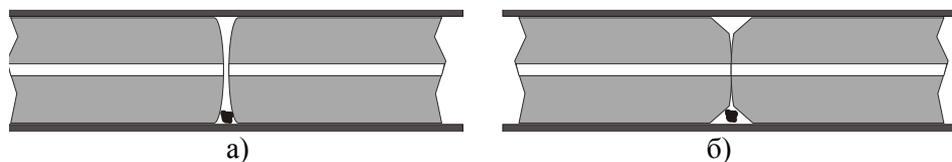


Рисунок 5 – Соединение двух армирующих наконечников в разрезном трубчатом центраторе с различной формой торцевой поверхности при наличии загрязнений: а) наконечник с обычной выступающей поверхностью; б) наконечник с дополнительной фаской

Возможности юстировки

LC относится к разъемам юстируемого типа: для минимизации потерь наконечник можно поворачивать в корпусе относительно его продольной оси.

Подстройка по углу установки требуется также при сращивании

- световодов, сохраняющих поляризацию [10];
- многосердцевидных световодов [11].

Выполнение соответствующей процедуры возможно за счет того, что на внутренний конец наконечника одевают оправку-держатель, который задает угол установки за счет взаимодействия с ответными элементами внутри корпуса. Формы оправок на практике отличаются достаточно большим разнообразием. Некоторые варианты их исполнения показаны на рисунках 6 и 7.

В тех ситуациях, когда наконечник должен занимать в корпусе вилки вполне определенное положение, оправке придают форму, которая не обладает полной круговой симметрией. Например, в [12] эта задача решена применением оправки, форма которой показана на рисунке 6 а, тогда как в [13] для получения нужных свойств в качестве прототипа взята круглая оправка, у которой удалены два боковых сегмента.

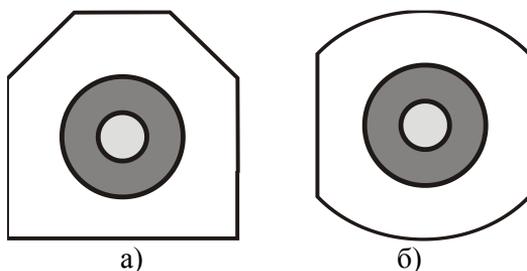


Рисунок 6 – Несимметричная установочная оправка центрирующего наконечника

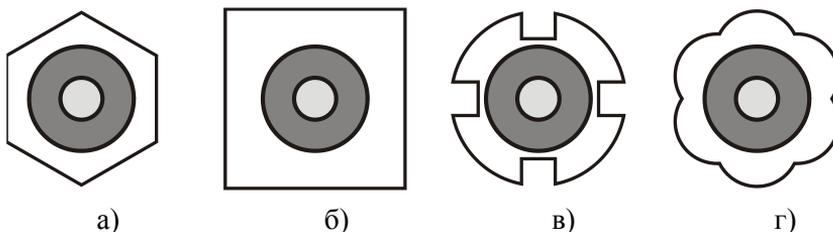


Рисунок 7 – Варианты исполнения симметричных установочных оправок центрирующего наконечника

Плоская оправка (позиция 5 на рисунке 4) может быть заменена на оправку с хвостовиком [14]. Длина этого элемента несколько превышает длину нажимной пружины 6, а свободный конец входит в соответствующую выемку на задней крышке 8. Переход на такую конструкцию позволяет отказаться от установки защитной трубки 7 (рисунок 4).

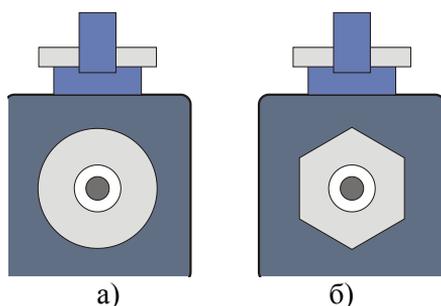
Особенности корпуса

Корпус вилки (коннектора) LC изготавливается из пластика методом литья под давлением. Имеет простую квадратную форму поперечного сечения. Кромки корпуса несколько сглажены, что облегчает подключение вилки к розетке. До-

полнительное преимущество пластика – простота его окраски в различные цвета, в т.ч. стандартизованные, что позволяет упростить администрирование кабельной системы.

Прочность пластикового корпуса недостаточна для некоторых областей эксплуатации, а также не обеспечивает электромагнитное экранирование внутреннего пространства корпуса коммутационного устройства. Для исправления этого недостатка немецкая компания Eurocom в 2005 году начала серийное производство LC, вилки которого имеют металлический корпус и содержат задний круглый металлический переход на кабель. Пластиковая обойма, одетая на переднюю часть корпуса, исполняла главным образом функции цветового идентификатора.

В передней части корпуса выполнено установочное гнездо, которое защищает большую часть боковой поверхности центрирующего наконечника и не мешает ему выполнять боковые перемещения в процессе подключения к розетке, рисунок 8.



**Рисунок 8 – Варианты исполнения установочных гнезд наконечника:
а) круглое; б) шестигранное**

Серийные вилки имеют гнездо с круглым поперечным сечением, возможен переход на шестигранную форму [15].

Особенности элемента фиксации

Вилка LC фиксируется в розетке защелкой рычажного типа, которая выполнена по образцу вилки модульного разъема электропроводной подсистемы. Защелка представляет собой пластинчатую пружину и в своем исходном варианте имеет одностороннюю фиксацию. В средней части этого элемента выполнено расширение-зацеп. При подключении верхняя часть гнезда розетки краями направляющего канала отжимает рычаг вниз. Для облегчения этой процедуры на передней части зацепа сформирован клиновидный скос. В нажатом состоянии рычаг остается до тех пор, пока зацеп не достигнет конца направляющего канала, который соответствует переднему положению вилки и в котором предусмотрена выемка для зацепа. Далее рычаг за счет своей упругости поднимается вверх и зацеп начинает взаимодействовать с фиксирующей выемкой. Для отключения вилки следует нажать на рычаг, который опускается вниз до тех пор пока его зацеп не выйдет из фиксирующей выемки.

Два основных варианта исполнения защелки показаны на рисунке 9.

Исходный рычажный фиксатор из основания и прямого пружинящего ры-

чага показан на рисунке 10 а. Основание одновременно выполняло также функции направляющего элемента, который за счет взаимодействия с направляющим пазом установочного гнезда задавал правильное положение вилки при ее движении в розетке.

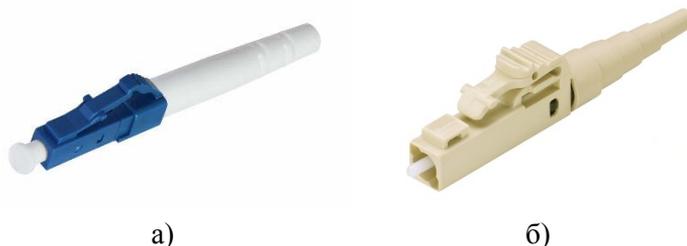


Рисунок 9 – Основные варианты исполнения фиксирующих защелок симплексных вилок LC: а) традиционная прямая; б) инверсного типа

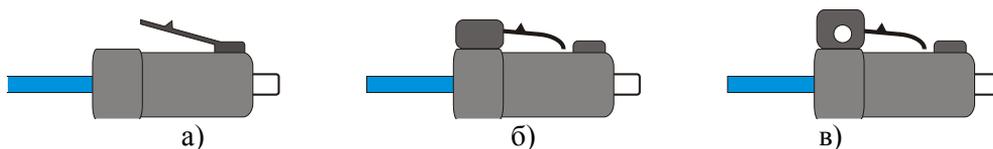


Рисунок 10 – Варианты исполнения фиксирующих защелок разъема: а) традиционное исполнение; б) заднее исполнение; в) заднее исполнение с установочным отверстием

Все компоненты фиксирующей защелки прямого классического исполнения всегда монтируются на корпусе вилки как ее интегральная составная часть.

Второе направление представлено так называемым инверсным или реверсным исполнением защелки (рисунок 9 б), которое не имеет прямого прототипа в электрических модульных разъемах. Впервые оно было предложено компанией Panduit, в англоязычной технической литературе обозначается как gear pivot latch, рисунок 10 б (схематическая форма). При обращении к такому дизайну фиксатор реализован на основе двух оснований, которые расположены по тандемной схеме. Заднее по отношению к рабочему концу центрирующего наконечника основание служит для крепления загнутого вниз свободного конца рычага, передний выполняет функции направляющего элемента.

Росту популярности инверсного исполнения вилки способствует отсутствие у нее выступающих частей, что заметно увеличивает эксплуатационную надежность вилки в целом. Для ее дополнительного наращивания в верхней части корпуса вилки при инверсном исполнении защелки может быть сформировано небольшое продольное углубление, по которому в момент отключения скользит свободный конец рычага без возможности поперечного смещения.

Задний установочный элемент фиксации рычага реверсного типа или нажимной крышки при классическом исполнении узла фиксации может иметь несколько большие размеры, что позволяет сформировать в нем круглое сквозное отверстие. Диаметр этого отверстия выполняется максимально большим, но так,

чтобы не допустить ослабления общей прочности конструкции. Отверстие используется при формировании дуплексной вилки и служит для установки упрочняющего стержневого элемента. Данная особенность схематически изображена на рисунке 10 в.

Еще одно отличие инверсной защелки: она может быть выполнена как интегральная составная часть защитного хвостовика. Такое исполнение особенно удобно для дуплексных вилок с разборной конструкцией. Кроме того, отказ от формирования рычага на корпусе коннектора делает его симметричным в поперечном сечении за счет изначально квадратного в сечении корпуса, что облегчает изменение полярности дуплексной вилки.

Вне зависимости от схемы построения рычага он в большинстве случаев представляет собой интегральную составную часть пластикового корпуса и формируется вместе с ним в едином технологическом цикле. Возможно его изготовление из металла как отдельной детали с установкой на корпус на заклепке [16]. Несмотря на меньшую технологичность металлического рычага он привлекателен большей механической прочностью.

Выводы

1. Оптический соединитель LC обладает достаточными конструктивными резервами для его использования в разнообразных по областям применения современных информационных системах.
2. Использование пластика как основного материала вилки и розетки разъема LC позволяет легко адаптировать его конструкцию на различные области применения и улучшать его функциональные возможности в требуемом направлении.
3. Наибольшие конструктивные резервы имеются в области рычажной защелки, а ее модернизация это наиболее эффективное средство адаптации соединителя для решения конкретной задачи.

Литература

1. Исследование волоконно-оптических инфокоммуникаций для передачи, обработки, хранения и защиты больших объемов информации: отчет о НИР, выполняемой в рамках тематического плана по заданию Минобрнауки РФ в 2017 году, фундаментальное исследование, № госрегистрации АААА-А17-117020210028-6 // Москва: ГБОУ ВО «МГОТУ», 2017. 69 с.
2. Модели и методы контроля параметров инфокоммуникационных систем: отчет о НИР, выполняемой в рамках тематического плана по заданию Минобрнауки РФ в 2019 году, фундаментальное исследование, № госрегистрации АААА-А19-119021590013-0 // Москва: ГБОУ ВО «МГОТУ», 2019. 56 с.
3. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы // ДМК-Пресс, 2017. 640 с.
4. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Введение в структурированные кабельные системы: учебное пособие / под редакцией д.т.н. профессора Семенова А.Б. // М.: Издательство «Научный консультант», 2018. 206 с.
5. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / Под научной редакцией А.Б. Семенова // Москва, 2019. 126 с.

6. Патент США 9 465 172 / МКИ G02B6/36; G02B6/38 / Optical fiber connector // Shih Hsi-chung / Заявл. 15.04.2014 / Оpubл. 11.10.2016. 19 p.
7. Патент США 10 222 556 / МКИ G02B6/38; G02B6/42 / Duplex mini LC connector // Nguyen L. V. / Заявл. 26.05.2017 / Оpubл. 05.03.2019. 14 p.
8. Патент США 6 076 974 / МКИ G02B6/38 / Optical fiber connector // Carlisle A. W., Hicks J. H. / Заявл. 14.09.1998 / Оpubл. 20.06.2000. 9 p.
9. Патент США 7 018 108 / МКИ G02B6/36; G02B6/38 / Rotationally adjustable fiber optic connector // Makhlin I., Yazvin A., Malevanets V., Phifer M.R., Grzegorzewska B., Grois I. / Заявл. 24.06.2003 / Оpubл. 28.03.2006. 10 p
10. Патент США 6 705 765 / МКИ G02B6/38 / Polarization maintaining optical fiber connector plug // Lampert N.R., Lu Y., Subh N.T., White I.A. / Заявл. 20.05.2002 / Оpubл. 16.03.2004. 22 p.
11. Патент США 8 801 301 / МКИ G02B6/38 / Simplex connectors for multicore optical fiber cables // Bradley K.B., Sandels G.A., White W.C. / Заявл. 16.03.2011 / Оpubл. 12.08.2014. 4 p.
12. Патент США 9 360 637 / МКИ G02B6/38 / Optical connector plug // Taira J., Arai N., Jibiki M. / Заявл. 19.02.2015 / Оpubл. 07.06.2016. 34 p.
13. Патент США 9 091 823 / МКИ G02B6/36; G02B6/38 / Optical fiber connector // Shen Po-hsun, Su Bing, Pan Jun-jin / Заявл. 24.02.2012 / Оpubл. 28.07.2015. 6 p.
14. Патент США 7 377 699 / МКИ G02B6/38; G02B6/36 / Optical connector // Terakura A. / Заявл. 24.03.2006 / Оpubл. 27.05.2008. 17 p.
15. Патент США 7 997 806 / МКИ G02B6/36 / Optical fiber connector // Nakagawa M. / Заявл. 18.02.2009, опубл. 16.08.2011. 10 p.
16. Патент США 7 189 008 / МКИ G02B6/36 / Indexed optical fiber connector // Dye D. E. / Заявл. 20.12.2005, опубл. 13.03.2007. 10 p.
17. Патент США 6 550 979 / МКИ G02B6/36; G02B6/38 / Floating connector subassembly and connector including same // Fleenor P.A., Theuerkorn T., Luther J.P. / Заявл. 10. 01.2001 / Оpubл. 03.09.2002. 11 p.

УДК 620.22+677.494

Особенности применения комплексных солей для получения волокнистых материалов с улучшенными характеристиками

С.В. Дегтярев, кандидат химических наук, доцент,
профессор кафедры общей и специальной химии,
А.П. Андреев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры общей и специальной химии,
С.В. Фролов, кандидат физико-математических наук,
профессор кафедры механики и инженерной графики,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и последствиям ликвидаций стихийных бедствий»,
г. Москва

В статье проанализированы способы модифицирования материалов из полимерных синтетических волокон, показана возможность применения композиций на основе комплексных солей с органическими лигандами для получения полиэфирных волокон с повышенным влагопоглощением и термоустойчивостью.

Химическое модифицирование полимерных волокон, координационные соединения, материалы с заданными свойствами.

Features of the use of complex salts to obtain fibrous materials with improved characteristics

S.V. Degtyarev, Ph.D., Associate Professor, Professor,
Department of General and Special Chemistry,
A.P. Andreev, Ph.D., Senior Researcher, Professor,
Department of General and Special Chemistry,
S.V. Frolov, Ph.D., Professor, Department of Mechanics and Engineering Graphics,
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Vocational Training
«The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Moscow

The article analyzes the methods of modifying materials from polymer synthetic fibers, shows the possibility of using compositions based on complex salts with organic ligands to produce polyester fibers with increased moisture absorption and heat resistance.

Chemical modification of polymer fibers, coordination compounds, materials with desired properties.

Одним из способов получения полимерных материалов (волокон, пленок нетканых материалов и др.) с заданными свойствами является процесс модифици-

рования полимерной матрицы. В настоящее время методы химического модифицирования полимеров являются перспективным направлением в области получения материалов с комплексом специальных свойств и улучшенными потребительскими качествами. Это обуславливается тем, что синтез новых полимеров с химически активными группами часто бывает более сложным, чем введение этих групп в полимер, а в ряде случаев невозможным. Кроме того, химическое модифицирование поверхности позволяет обеспечить концентрирование функционально-активных групп, обеспечивающих изменение свойств, в доступных слоях полимера и тем самым сохранить механические свойства получаемых изделий.

Основные методы [1] модифицирования материалов из химических волокон, включающие и физические, и химические подходы, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы модифицирования свойств химических волокон

Метод модифицирования	Возможные результаты
Синтез сополимеров	Нарушение регулярности строения полимера. Улучшение растворимости полимера и повышение эластичности волокна.
Введение боковых групп в элементарное звено макромолекулы полимера	Снижение степени кристалличности, замедление процессов кристаллизации волокна
Синтез привитых блоксополимеров или, прививка к макромолекулам готовых волокон	Повышение растворимости полимера, изменение сорбционной емкости, гидрофильности, термостойкости и других показателей
Образование поперечных химических связей между макромолекулами	Уменьшение текучести и растворимости, повышение термостойкости волокна
Введение новых функциональных групп. Улучшение структуры волокон (изменение соотношений между аморфными и кристаллическими фракциями)	Повышение гидрофильности, улучшение окрашиваемости и светостойкости волокна изменение прочности, текучести, модуля термостойкости и эластичности
Введение добавок в полимер	Повышение различных эксплуатационных показателей, в зависимости от добавки
Увеличение молекулярной массы полимера	Увеличение разрывной и усталостной прочности волокна
Формование волокон из смеси полимеров	Изменение хемостойкости, гидрофильности, эластичности и других свойств волокон
Изготовление изделий из смесей синтетических и природных волокон	Изменение гидрофильности, эластичности

Для модифицирования свойств различных полимеров могут быть использованы неорганические вещества, как отдельно, так и в сочетаниях с различными композициями с органическими веществами. Модифицирование свойств полимера в некоторых случаях может происходить без изменения химического состава и

строения его макромолекул, а эффект достигается за счет нарушения взаимодействия между ними, приводящего к изменению макроструктуры полимерного материала.

Процесс модифицирования при использовании минеральных или комплексных солей может быть осуществлен при наличии в составе макромолекул полимера полярных групп (например –СО–NH– у полиамидов), содержащих атомы электроотрицательных элементов, способных к установлению атомных связей с катионами неорганических добавок по донорно-акцепторному механизму. Ионы металлов в зависимости от строения их электронной оболочки, размера и заряда способны к взаимодействию с функциональными группами полимера, в результате чего изменяется межмолекулярное взаимодействие в полимере, что и приводит к изменению свойств полимерного материала.

В основном проводят модифицирование в гетерогенных системах на стадии отделки готовых полимерных волокон или материалов из них. Модифицирование проводят путем обработки или пропитки полимерного материала раствором, содержащим модифицирующую добавку с последующей фиксацией модифицирующих веществ. При модифицировании полимеров в гетерогенных системах химические превращения идут на поверхности полимеров или в слоях, близких к поверхности не затрагивая внутреннюю структуру волокон и материалов из них и сохраняя их положительные свойства.

В настоящее время мировое производство химических волокон значительно превышает объемы выработки всех природных волокнистых материалов. В таблице 2 приведены данные о мировом производстве волокон.

Таблица 2 – Мировое производство полимерных волокон

Вид	Природные		Химические		
	Хлопок	Шерсть	Целлюлозные	Полиамидные	Полиэфирные
Объем (млн.тонн)	34,7	2,3	4,7	6,4	41,2

Синтетические многотоннажные химические волокна в большей части обладают низкой гидрофильностью, высокой электризуемостью, низкой термоустойчивостью, поэтому химическое модифицирование волокон комплексными солями, направленное на получение синтетических материалов с повышенным комплексом перечисленных потребительских свойств, и в первую очередь, с повышенной гидрофильностью, является наиболее перспективным, так как позволит решить задачу создания многофункциональной одежды, которая найдет широкое применение, в том числе и для экипировки сотрудников различных ведомств. Комфортность одежды, прежде всего, зависит от гигроскопичности и капиллярности материала – наиболее важных показателей гидрофильности.

Теоретический анализ проблемы показывает, что поиски способов увеличения гигроскопичности химических волокон и текстильных материалов на их основе принципиально возможны в трех направлениях:

1) увеличение собственной гидрофильности полимера, которая зависит от наличия в цепи макромолекулы полярных лиофильных групп, способных к дипольному взаимодействию или к связыванию воды, благодаря образованию водородных связей;

2) создание регулируемой капиллярной пористости элементарного волокна; наличие микрокапилляров способствует развитию капиллярной конденсации воды, что имеет большое значение в процессе влагопереноса;

3) изменение строения и геометрии поверхности волокна. Синтетические волокна, обычно, обладают относительно ровной, гладкой поверхностью. В нити осуществляется тесный контакт между филаментами, поэтому, для придания волокнам микрорельефности, необходимо изменять структуру поверхности.

В этой связи использование неорганических солей представляется интересным, так как позволяет в значительной степени изменить поверхностные свойства за счет включения полярных элементов (катионы металлов) и изменения поверхностной микроструктуры путем наслаивания неорганической составляющей.

Использование неорганических соединений, в первую очередь минеральных и комплексных солей, для придания полимерам необходимых свойств позволяет также минимизировать состав получаемой полимерной композиции, что является не только технологически целесообразным, но и экономически привлекательным.

Способ химического модифицирования комплексными солями заключается в обработке готовых волокон различными составами. Выбор солей и характеристика режима обработки зависит от типа волокнообразующего полимера. При обработке солями металлов натуральных волокон процессы диффузии и сорбции протекают без значительных затруднений, что связано с доступностью макромолекул в объеме. В случае синтетических волокон, у которых, как правило, более жесткая упорядоченная структура, проведение процесса модифицирования усложняется.

Особый интерес представляет модифицирование свойств полиэфирных волокон. Ассортимент таких волокон на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) очень широк – это штапельные волокна, текстильные и технические нити, монопнити, профилированные и текстурированные нити, микронити и микроволокна, пленочные и фибриллированные нити, нетканые материалы.

Среди особенностей свойств полиэфирного волокна можно выделить:

- возможность широкого варьирования механических характеристик: прочности, удлинения при разрыве, что позволяет разнообразить ассортимент полиэфирной продукции
- высокая стабильность структуры, обуславливающая малую усадочность; для технических нитей под нагрузкой – малую ползучесть, обеспечивающая стабильность размеров изделий;

Однако помимо вышеперечисленных положительных качеств полиэфирное волокно обладает целым рядом недостатков:

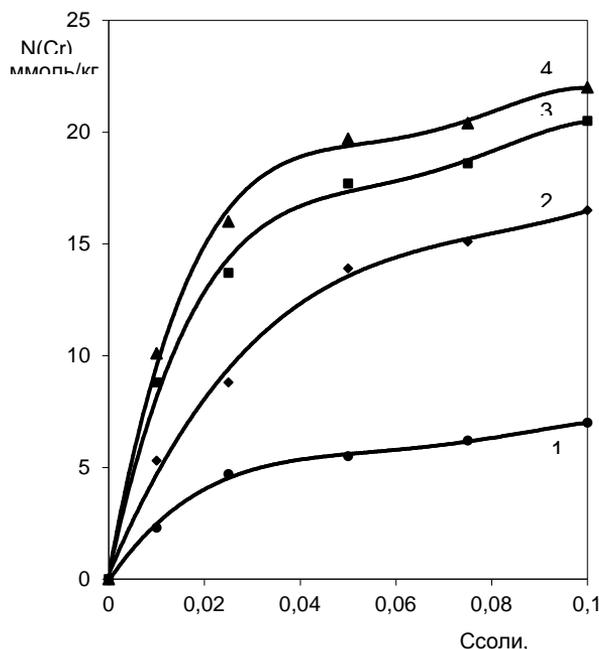
- очень низкая гигроскопичность и отсюда невысокий уровень санитарно-гигиенических свойств; Водопоглощение полиэфирного волокна при относительной влажности воздуха 65% составляет 0,4%; (для сравнения. этот же показатель для хлопка находится в пределах 7-9%.)
- высокая электризуемость, термонеустойчивость – горючесть.

В связи с этим разработка способа, позволяющего повысить влагопоглощение полиэфирных волокон и одновременно повлиять на их термоустойчивость, является интересным как с теоретической, так и с прикладной точек зрения.

Применяемые нами модифицирующие составы, включали растворы хло-

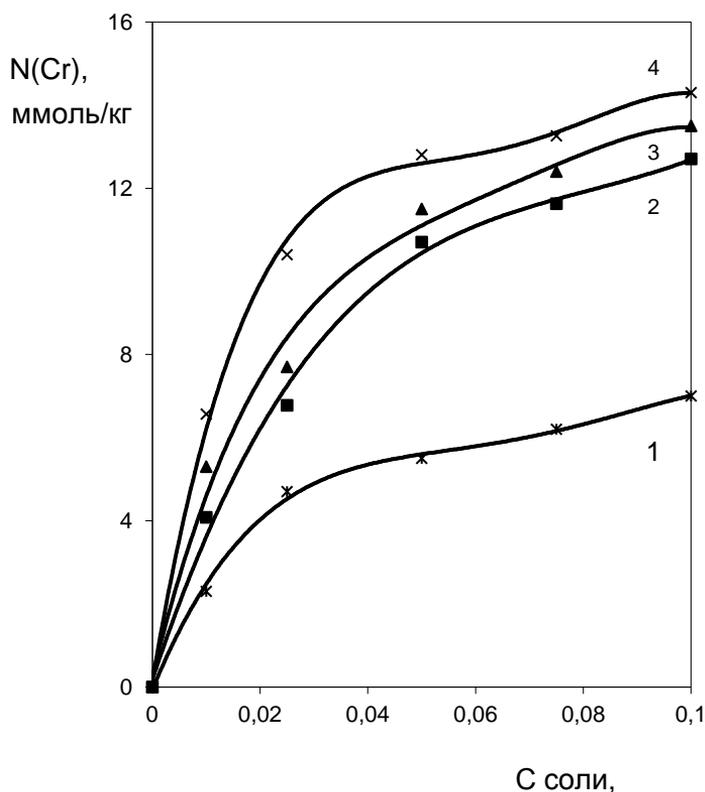
рида хрома(III) различной концентрации, а также их смеси с бензойной и салициловой кислотами.

Катионы хрома(III) являются сильными акцепторами молекул воды во внутренней и внешней сольватной оболочке. Наличие такого катиона в структуре волокна должно обеспечить повышение его гигроскопичности. Высокая температура стеклования полиэфирных волокон осложняет различные процессы, связанные с диффузией и сорбцией в нем, поэтому существуют различные способы ее снижения. Одним из часто применяемых способов является пластификация волокнообразующего полимера низкомолекулярными веществами. Для ПЭТФ пластифицирующими веществами являются некоторые ароматические кислоты, в частности: бензойная и салициловая кислоты. Обработку проводили при гидромодуле ванны 50, температуре 98-100 °С в течение одного часа. После этого образцы промывали, сушили и анализировали. Количество сорбируемого Cr^{3+} ПЭТФ-волокном определяли по методике, основанной на методе фотометрии остаточной ванны, при переводе ионов хрома в его гексагидрохсокомплексы с более выраженной окраской. Концентрацию соли варьировали в пределах 0,01–0,1 моль/л; соотношение катион металла – пластификатор изменяли от 1:1 до 1:3. Выбор названных концентраций соли обусловлен тем, что при их более высоких значениях, количество связанного ПЭТФ-волокном хрома(III) практически не повышается. Кривые сорбции катионов Cr^{3+} в зависимости от состава ванны приведены на рисунках 1-2.



1 – CrCl_3 без добавок; 2 – CrCl_3 и бензойная кислота, мольное соотношение 1:1; 3 – CrCl_3 и бензойная кислота, мольное соотношение 1:2; 4 – CrCl_3 и бензойная кислота, мольное соотношение 1:3.

Рисунок 1 – Зависимость сорбции катионов Cr^{3+} ПЭТФ от соотношения хлорида хрома(III) и бензойной кислоты в растворе



1 – CrCl₃ без добавок; 2 – CrCl₃ и салициловая кислота, мольное соотношение 1:1; 3 – CrCl₃ и салициловая кислота, мольное соотношение 1:2; 4 – CrCl₃ и салициловая кислота, мольное соотношение 1:3

Рисунок 2 – Зависимость сорбции катионов Cr³⁺ ПЭТФ от соотношения хлорида и салициловой кислоты в растворе

Как видно, введение в раствор пластификаторов, значительно увеличивает сорбционную способность ПЭТФ по отношению к катионам хрома, однако получаемый эффект зависит от того какой пластификатор использован.

Для термодинамической оценки возможности использования выбранных комплексных систем, с помощью модифицированного уравнения Фрейндлиха были определены величины химического сродства. Расчет проводили, учитывая процесс комплексообразования, с различными лигандами, используя следующее уравнение:

$$-\mu^0 = RT \ln \frac{[Kч]_B [I]_B^Z}{V^{Z+1}} - RT \ln [Kч]_P [I]_P^Z$$

где [Kч]_в – равновесная концентрация комплексной частицы в фазе волокна, ммоль/кг; [Kч]_р – равновесная концентрация комплексной частицы в фазе раствора, ммоль/л; [I]_в – равновесная концентрация противоиона в фазе волокна, ммоль/кг; [I]_р – равновесная концентрация противоиона в фазе раствора, ммоль/л;

V – эффективный объем, л/кг, Z – модуль величины заряда комплексной частицы; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Комплексообразование в растворе для катионов трехвалентного хрома с участием бензойной и салициловых кислот может привести к образованию следующих частиц с различным зарядом:



При этом бензойная кислота является монодентатным лигандом, за счет карбоксильной группы ($K_{\text{дисс}}=6,30 \times 10^{-5}$), а салициловая кислота бидентатным, за счет карбоксильной ($K_{\text{дисс}_1}=1,10 \times 10^{-3}$) и гидроксильной ($K_{\text{дисс}_2}=2,60 \times 10^{-14}$) групп, находящихся в бензольном кольце в орто-положении.

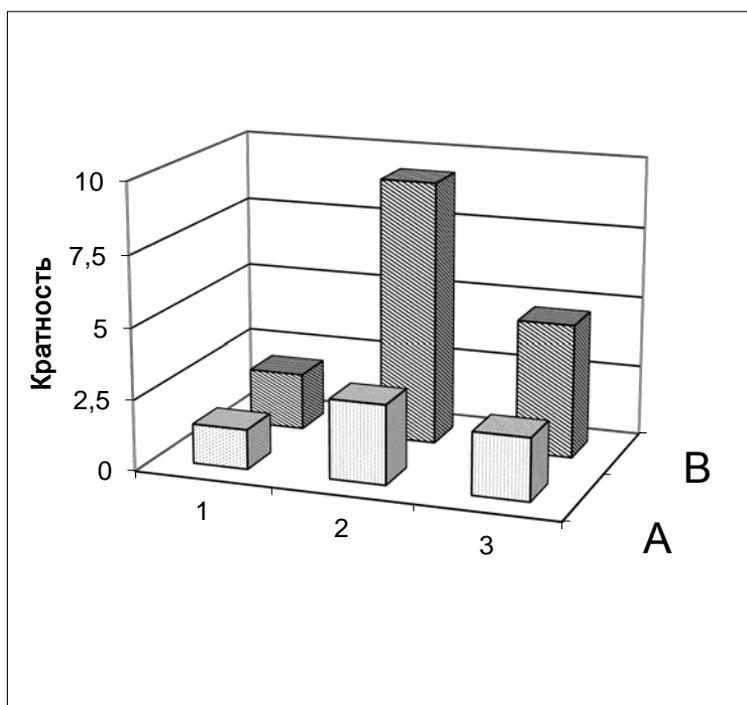
В таблице 3 приведены значения химического сродства комплексных солей, к ПЭТФ-волокнам.

Таблица 3 – Сродство комплексов Cr^{3+} к ПЭТФ в зависимости от их состава

Комплекс Cr^{3+}	Координационное соотношение	Сродство $-\Delta\mu^\circ$, кДж/моль
Аквакомплекс	1 : 6	9,2
Бензоатный	1 : 1	17,6
	1 : 2	14,2
	1 : 3	12,7
Салицилатный	1 : 1	13,1
	1 : 2	11,8
	1 : 3	10,3

Как видно, сродство аквакомплексов к ПЭТФ намного меньше, чем комплексов с участием органических лигандов. Однако существенное различие можно отметить и в ряду бензоатных и салицилатных комплексов, первые из которых, по величине сродства значительно превышают и аква- и салицилатные комплексы хрома(III). При этом комплексные соединения, имеющие в своем составе органические лиганды по абсолютному значению сродства могут быть отнесены к веществам, образующим с макромолекулами полимера сетку водородных и ионных связей.

В качестве критериев оценки изменения уровня влагопоглощения были использованы гигроскопичность и капиллярность. Исследование проводили по стандартной методике. Сравнительный анализ гидрофилизации модифицированных полиэфирных волокон приведен на рисунке 3.



1 – аквакомплекс Cr(III); 2 – бензоатный комплекс 1:1 Cr(III); 3 – салицилатный комплекс 1:1 Cr(III); А – гигроскопичность, В – капиллярность

Рисунок 3 – Сравнительная диаграмма увеличения гидрофильных показателей ПЭТФ-волокон в зависимости от модифицирующего состава

Как видно использование различных систем по-разному влияет на эффект модифицирования, но в целом можно отметить, что разработанный подход позволяет существенно повысить гидрофильность полиэфирных волокон, а следовательно и ее гигиеничность.

Комплексные соли переходных металлов, находящиеся в полимере, могут оказывать влияние на структуру волокнообразующих полимеров и на приобретения изделиям из них целого комплекса специальных свойств [2]. Известно, что специфические каталитические (ингибирующие) свойства катионов металлов могут оказывать существенное влияние на термохимические превращения полимера [3]. Однако наличие в макромолекуле полимеров донорных группировок и сильная комплексообразующая способность введенных переходных металлов могут оказывать влияние на термолит такой системы. В этой связи, особый интерес вызывает изучение влияния комплексных солей хрома(III) на процесс термолитза ПЭТФ-волокон.

В работе исследовали термолит ПЭТФ-волокон, предварительно модифицированных бензоатными комплексами хрома(III) состава 1:1, при концентрации комплексной соли в ванне 0,1 моль/л, и дополнительно обработанных дигидроортофосфатом натрия. Количество дополнительно вводимого вещества определяли из расчета, что его мольное отношение к количеству хрома(III), содержащегося в волокне, должно быть 6:1. Дополнительную обработку осуществляли выдерживанием волокон в растворах этих веществ с последующей термообработкой при 110

⁰С, после чего образцы промывали и сушили. Полученные таким образом волокна подвергали термогравиметрическому (ТГА) и дифференциальному термическому анализу (ДТА).

Результаты исследования в зависимости от способа обработки веществами-модификаторами показали, что введение в полимер неорганического фосфорсодержащего вещества в сочетании с катионами хрома(III) приводит к снижению максимальной скорости разложения образца, увеличению конечной массы образца в конце процесса. Особенно интересно отметить значительные изменения вида кривых ДТА, показывающих термоэффекты при разложении. Применение неорганических соединений позволяет во всех случаях увеличить коксовый остаток в 6-10 раз и значительно повлиять на термоэффекты. Эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре ≈ 255 ⁰С, что соответствует температуре плавления ПЭТФ, после обработки неорганическим препаратом, значительно уменьшается в 3-4 раза. Для интерпретации этого необходимо воспользоваться сведениями о специфических координационных свойствах соединений хрома(III). Катион хрома(III) при щелочном воздействии может образовывать олсоединения – устойчивые многоядерные комплексы олигомерного характера. Особенно эффективно этот процесс идет при необратимом гидролизе некоторых солей, что происходит, к примеру, при действии на катион хрома(III) водных растворов фосфатов с последующим прогревом. Проведенный способ обработки с этой точки зрения создает благоприятные условия протекания процессов оляции. Можно предположить, что образованные, таким образом, многоядерные ол-комплексы хрома(III), как при процессе дубления, образуют множественные связи между макромолекулами полимера, что, в свою очередь, и отражается на процессе термолиза модифицированного полиэфирного волокна.

Таким образом, применение комплексных солей металлов как модификаторов синтетических полимерных волокнистых материалов позволяет в значительной степени изменять их свойства, а такой способ может лежать в основе технологии получения современных материалов с улучшенными потребительскими характеристиками.

Литература

1. Химические волокна: основы получения, методы исследования и модифицирования: учебное пособие / Т.В. Дружинина, Л.С. Слеткина, И.Н. Горбачева, Л.В. Редина / под ред. Т.В. Дружининой // Москва: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2006. 472 с.
2. О структуре высокозарядных катионов металлов, модифицирующих свойства текстильных материалов из синтетических волокон / Н.Н. Павлов, С.В. Дегтярев, В.М. Баранцев, О.В. Михайлова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2009. № 1. С. 65-68.
3. Дружинина Т.В., Савельева Е.Ю. Влияние соединений фосфора и хрома на процесс термоокисления поливинилспиртовых волокон // Химические волокна, 2003. № 1. С. 15-18.

УДК 629.7.015.4

Метод расчета напряженно-деформированного состояния оболочки вращения как элементов ракетной техники в условиях ползучести материала

В.Г. Исаев, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление качеством и стандартизации», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», г. Королев, Московская область,

Т.А. Бутина, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Вычислительная математика и математическая физика»,

В.М. Дубровин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительная математика и математическая физика», Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Показано, что элементы конструкций ракетной техники при длительном нагружении подвержены ползучести, что обуславливает необходимость оценки этого явления с точки зрения сохранности технических свойств конструкции. Предложен метод расчета напряженно-деформированного состояния оболочек вращения при действии комплекса внешних нагрузок в условиях ползучести материала оболочки. При этом рассмотрен случай неравномерного по толщине и образующей нагрева конструкции.

Оболочки вращения, нагрев конструкции, напряженно-деформированное состояние, ползучесть материала, осесимметричное нагружение, свойства материалов, упруго-пластическая деформация, температурное расширение.

Method of calculation of stress-strain state of rotation shell as elements of rocket equipment under conditions of material creep

V.G. Isaev, candidate of engineering Sciences, associate professor, managing a department management by quality and standardizations, State Educational Institution of Higher Education Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

T.A. Butina, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor «Calculus mathematics and mathematical physics»,

V.M. Dubrovin, candidate of engineering Sciences, associate professor, associate professor «Calculus mathematics and mathematical physics», Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Structural elements of rocketry under prolonged loading are subject to creep, which necessitates the assessment of this phenomenon from the point of view of preserving the technical properties of the structure. A method for calculating the stress-strain state of the shells of rotation under the action of a complex of external loads under the

creep of the shell material is proposed. At the same time, the case of non-uniform thickness and forming heating of the structure is considered.

Shells of rotation, heating of the structure, stress-strain state, creep of the material, axisymmetric loading, properties of materials, elastic-plastic deformation, temperature expansion.

ВВЕДЕНИЕ. Ползучесть, наряду с упругостью и пластичностью, является одним из основных свойств конструкционных материалов и заключается в увеличении деформации в процессе эксплуатации конструкции под действием даже постоянных нагрузок. Ползучесть проявляется и при небольших уровнях напряжений и нормальных температурах, но она, как правило, мала в течение всего времени эксплуатации конструкций и отбрасывается при расчетах. При повышении температуры и уровня напряжений в конструкциях ползучесть становится заметной, а иногда и решающей характеристикой в расчетах. Ниже приведена постановка задачи определения напряженно-деформированного состояния осесимметрично нагруженных оболочек вращения при ползучести, система разрешающих уравнений представлена в виде, удобном для решения методом конечных разностей.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА. Рассматривается изотропная однослойная оболочка, образованная вращением некоторой кривой вокруг оси X . Положение точки на поверхности оболочки определяется ортогональными криволинейными координатами α и β , отсчитываемыми соответственно в меридиональном и окружном направлениях. Координатные линии α и β являются линиями главных кривизн K_α и K_β недеформированной поверхности. Геометрия оболочки задается коэффициентами Ляме A и B , радиусами кривизны $R_\alpha = \frac{1}{K_\alpha}$ и $R_\beta = \frac{1}{K_\beta}$, толщиной $h(\alpha)$, начальным α_0 и конечным α_K значениями координаты α .

Оболочка может быть нагрета осесимметрично (неравномерно по толщине и образующей) и нагружена осесимметричными усилиями. Кроме того, температурное поле и внешние нагрузки могут меняться со временем. Если температурный нагрев и уровень напряженного состояния значительны, то в оболочке наряду с упруго-пластическими деформациями со временем возникают деформации ползучести.

Свойства материала характеризуются, например, набором $N=K*M$ диаграмм $\varepsilon_{(i,j)}(\sigma_{(i)}, T_{(j)}, t)$ ($i = 1, 2 \dots K, j = 1, 2, \dots M$) зависимости полной деформации от времени при постоянных значениях напряжения и температуры. При этом напряжение и температура должны меняться с достаточно малыми шагами $\Delta\sigma = \sigma_{i+1} - \sigma_i, \Delta T = T_{j+1} - T_j$ и в широких пределах из-за сильной нелинейности зависимости $\varepsilon(\sigma, T, t)$. При выборе конкретного метода решения и «теории ползучести» указанные диаграммы перестраиваются в изохронные кривые, кривые «мгновенного» деформирования, диаграммы для скоростей ползучести и др.

Следует также задавать коэффициент температурного расширения α_T и коэффициент Пуассона ν_p .

При определении напряженно-деформированного состояния оболочки вращения в условиях ползучести использовались два различных подхода на осно-

ве деформационной теории ползучести.

В первом подходе полная деформация представляется в виде суммы упруго-пластической деформации, температурного расширения и деформации ползучести. Упруго-пластические деформации и соответствующие им напряжения определялись по кривым мгновенного деформирования методом переменных параметров упругости. По найденному напряженно-деформированному состоянию отдельно определялись деформации ползучести, использовались соотношения различных теорий ползучести. Деформации ползучести считались «пассивными» в том смысле, что собственно их изменение не влияет непосредственно на напряженное состояние оболочки, но приводит к изменению формы оболочки, из-за чего даже при постоянных внешних воздействиях может происходить перераспределение напряжений и упруго-пластических деформаций.

При втором подходе общие кривые ползучести перестраиваются в изохронные кривые и по ним методом переменных параметров сразу определяется сумма упруго-пластических деформаций и деформаций ползучести в искомый момент времени.

Ниже приводится вывод разрешающих уравнений для первого подхода, поясняется отличие в постановке и применении второго метода.

Рассмотрим связь усилий с деформациями с учетом разгрузки. По гипотезе Кирхгофа-Лява о неизменяемости нормали к срединной поверхности, деформации в слое, расположенном на расстоянии z от срединной поверхности, представляется в виде:

$$e_{\alpha} = \varepsilon_{\alpha} - zx_{\alpha}, (\alpha \leftrightarrow \beta), e_{\alpha\beta} = 0 \quad (1)$$

Здесь $\varepsilon_{\alpha}, \varepsilon_{\beta}, x_{\alpha}, x_{\beta}$ – полные деформации и измерения кривизн в срединной поверхности оболочки, которые для осесимметричного случая нагружения согласно Х.М. Муштари [12] записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\alpha} &= u' - \frac{w}{R_{\alpha}} + \frac{1}{2} \varphi^2, \varepsilon_{\beta} = \vartheta u - \frac{w}{R_{\beta}} \\ x_{\alpha} &= \varphi', x_{\beta} = \vartheta \varphi \varphi = w' \\ (\dots)' &= \frac{1}{A} \frac{d(\dots)}{d\alpha}, \vartheta = \frac{B'}{B} \end{aligned} \quad (2)$$

где u, w – перемещения точек срединной поверхности, положительные направления которых указаны на рисунке 1.

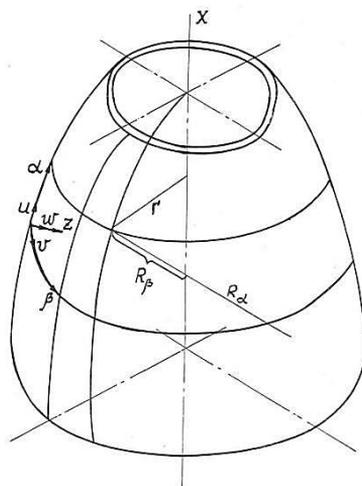


Рисунок 1 – Изотропная однослойная оболочка, образованная вращением кривой вокруг оси X

Полные деформации в любом слое оболочки можно представить в виде:

$$e_{\alpha} = e_{\alpha}^{ep} + e_{\alpha}^c + e_{\alpha}^T \quad (\alpha \leftrightarrow \beta) \quad (3)$$

где

e_{α}^{ep} – упруго-пластическая часть полной деформации,

e_{α}^c – деформация ползучести,

e_{α}^T – деформация нагрева.

Согласно деформационной теории термопластичности соотношение (3) можно представить в виде:

$$e_{\alpha} = \frac{1}{E_c^0} (\sigma_{\alpha} - \gamma \sigma_{\beta}) + \alpha_T \Delta T + e_{\alpha}^c \quad (\alpha \leftrightarrow \beta) \quad (4)$$

Здесь $E_c^0 = \sigma_x / \varepsilon_x$ – секущий модуль при одноосном растяжении, $\gamma = \frac{1}{2} [1 + (2\gamma_p - 1) \frac{E_c^0}{E}]$ – коэффициент поперечного сжатия материала, в упругой области равный коэффициенту Пуассона, E-модуль Юнга.

При определении напряженно-деформированного состояния секущий модуль E_c^0 находится из диаграммы мгновенного деформирования. Учет разгрузки осуществляется следующим образом. Пусть в некоторый момент времени t в некоторой точке разбиения оболочки по толщине и по длине температура была T_1 , а мгновенный предел текучести определялся точкой A (рис. 2).

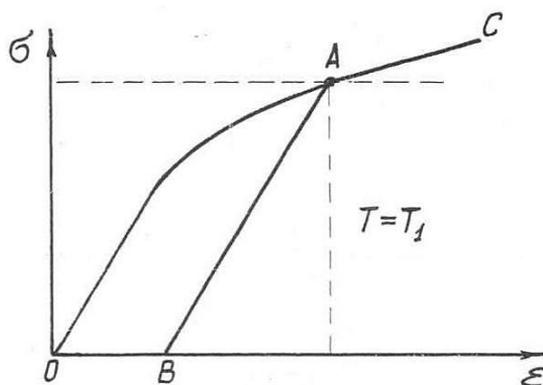


Рисунок 2 – Определение мгновенного предела текучести материала

В момент времени $t + \Delta t$ при нахождении равновесного напряженно-деформированного состояния в той же точке оболочки будет рассматриваться уже не кривая OAC, а ломаная BAC. Если $\sigma(t + \Delta t) < \sigma_A(t)$, то точка $(\sigma - \varepsilon)$ – будет на прямой разгрузки, если $\sigma(t + \Delta t) \geq \sigma_A(t)$ – то на кривой AC. При изменении температуры в этой точке оболочки за время Δt от T к T' (см. ломаную B'A'C') (рис. 3.)

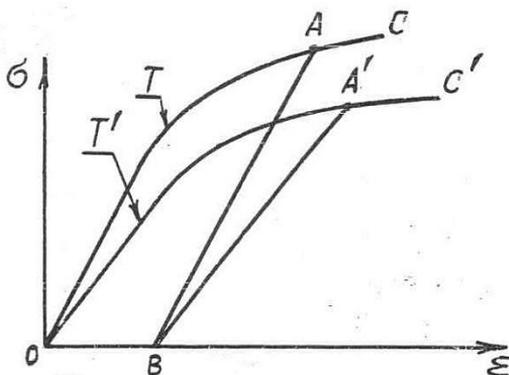


Рисунок 3 – Изменение температуры в точке A оболочки за время Δt

Таким образом, при деформировании оболочки со временем активное напряженно-деформированное состояние определяется с учетом истории нагружения в смысле учета накопленной деформации ползучести и накопленной пластической деформации, но не зависит от пути нагружения. При одноосном напряженно-деформированном состоянии имеют место соотношения

$$e_u = \frac{2}{3}(1 + \gamma)e_x, \quad \sigma_u = \sigma_x,$$

а при двухосном

$$e_u = \frac{2}{3(1 - \gamma)} \sqrt{(1 - \gamma + \gamma^2)[(e_\alpha - e_\alpha^c)^2 + (e_\beta - e_\beta^c)^2] - (1 - 4\gamma + \gamma^2) * (e_\alpha - e_\alpha^c)(e_\beta - e_\beta^c) + (1 + \gamma)^2(\alpha\Delta T - (e_\alpha - e_\alpha^c) - (e_\beta - e_\beta^c))\alpha_T\Delta T}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2} - \sigma_\alpha \sigma_\beta, E_c^0 = \frac{2(1+\gamma)}{3} \frac{\sigma_u}{e_u} \quad (5)$$

Разрешая уравнения относительно напряжений, можно получить связь напряжений и деформаций в оболочке в некоторый момент времени:

$$\sigma_\alpha = \frac{E_c^0}{(1-\gamma^2)} [e_\alpha - e_\alpha^c + \gamma(e_\beta - e_\beta^c) - (1+\gamma)\alpha_T \Delta T] \quad (\alpha \leftrightarrow \beta) \quad (6)$$

Систему напряжений, распределенных по грани некоторого элемента оболочки,

заменяем равнодействующими усилиями и моментами, приложенными к срединной поверхности. Используя соотношения (1), (6), получим

$$\begin{aligned} T_\alpha &= A_1 \varepsilon_\alpha + A_2 \varepsilon_\beta - A_3 x_\alpha - A_4 x_\beta - B_1 - C_1 - C_2, \\ T_\beta &= A_1 \varepsilon_\beta - A_3 x_\beta - A_4 x_\alpha - B_1 - C_3 - C_4 \\ M_\alpha &= A_3 \varepsilon_\alpha + A_4 \varepsilon_\beta - A_5 x_\alpha - A_6 x_\beta - B_2 - C_5 - C_6 \\ M_\beta &= A_3 \varepsilon_\beta + A_4 \varepsilon_\alpha - A_5 x_\beta - A_6 x_\alpha - B_2 - C_7 - C_8, \end{aligned} \quad (7)$$

где коэффициенты имеют вид:

$$\begin{aligned} A_1 &= \int E_c dz, & A_2 &= \int \gamma E_c dz, & A_3 &= \int E_c z dz, \\ A_4 &= \int \gamma E_c z dz, & A_5 &= \int E_c z^2 dz, & A_6 &= \int \gamma E_c z^2 dz, \\ B_1 &= \int E_c (1+\gamma) \alpha \Delta T dz, & B_2 &= \int E_c (1+\gamma) \alpha \Delta T z dz, \\ C_1 &= \int E_c e_\alpha^c dz, & C_2 &= \int \gamma E_c e_\beta^c dz, & C_3 &= \int E_c e_\beta^c dz, \\ C_4 &= \int \gamma E_c e_\alpha^c dz, & C_5 &= \int E_c e_\alpha^c z dz, & C_6 &= \int \gamma E_c e_\beta^c z dz, \\ C_7 &= \int E_c e_\beta^c z dz, & C_8 &= \int \gamma E_c e_\alpha^c z dz, & E_c &= \frac{E_c^0}{1-\gamma^2} \end{aligned} \quad (8)$$

все интегралы берутся от $-h/2$ до $+h/2$, где h – толщина оболочки.

Ниже приводится разрешающая система уравнений, приведение ее к каноническому виду.

Разрешающая система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} T'_\alpha + \frac{\theta}{A} (T_\alpha - T_\beta) &= 0 \\ N'_\alpha + \frac{\theta}{A} N_\alpha + \frac{T_\alpha}{R_\alpha} + \frac{T_\beta}{R_\beta} + q &= 0 \\ M'_\alpha + \frac{\theta}{A} (M_\alpha - M_\beta) + T_\alpha \varphi - N_\alpha &= 0, N_\alpha = Q_\alpha + T_\alpha \varphi, \end{aligned} \quad (9)$$

где q – поперечная осесимметричная нагрузка.

Для того, чтобы определить напряженно-деформированное состояние оболочки, к (9) необходимо присоединить уравнения (1) и (2) для получения замкнутой системы шести уравнений с шестью неизвестными $u, w, \varphi, T_\alpha, N_\alpha, M_\alpha$. Из (1), (2), (7) путем несложных преобразований получим:

$$\begin{aligned} \frac{du}{d\alpha} &= a_1\theta u + A\left(\frac{1}{R_\alpha} - \frac{a_1}{R_\beta}\right)w + a_2\theta\varphi + A(a_0T_\alpha + a_3M_\alpha) + A\left(a_4 - \frac{\varphi^2}{2} + C_1^*\right) \\ \frac{dw}{d\alpha} &= A\varphi, \\ \frac{d\varphi}{d\alpha} &= a_6\theta u + A\frac{a_6}{R_\beta}w + a_7\theta\varphi - A(a_3T_\alpha + a_5M_\alpha) + A(a_8 + C_2^*), \\ \frac{dT_\alpha}{d\alpha} &= \theta\left[\frac{a_9}{R_\beta}\theta u - \frac{a_9}{R_\beta}w + \frac{a_{11}\theta}{A}\varphi + \theta(a_{10} - 1)T_\alpha + a_{12}M_\alpha + a_{13} + C_3^*\right], \\ \frac{dN_\alpha}{d\alpha} &= -\frac{a_9\theta}{R_\beta}u + \frac{Aa_9}{R_\beta^2}w - \frac{a_{11}\theta}{R_\beta}\varphi - A\left(\frac{1}{R_\alpha} + \frac{a_{10}}{R_\beta}\right)T_\alpha - \theta N_\alpha - \frac{Aa_{12}}{R_\beta}M_\alpha \\ &\quad - A\left(q + \frac{a_{13} + C_3^*}{R_\beta}\right), \\ \frac{dM_\alpha}{d\alpha} &= \theta\left(\frac{a_{14}}{A}u - \frac{a_{14}}{R_\beta}w + \frac{a_{16}\theta}{A}\varphi + a_{15}T_\alpha\right) + AN_\alpha + \theta(a_{18} + C_4^*) \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta &= A_3^2 - A_1A_5, a_0 = -\frac{A_5}{\Delta}, a_1 = \frac{A_2A_5 - A_3A_4}{\Delta}, \\ a_2 &= \frac{A_3A_6 - A_4A_7}{\Delta}, a_3 = \frac{A_3}{\Delta}, a_4 = \frac{A_3B_2 - A_5B_1}{\Delta}, \\ a_5 &= \frac{A_1}{\Delta}, a_6 = \frac{A_3A_2 - A_1A_4}{\Delta}, a_7 = \frac{A_1A_6 - A_3A_4}{\Delta}, \\ a_8 &= \frac{A_1B_2 - A_3B_1}{\Delta}, a_9 = A_1 + A_2a_1 - A_4a_6, a_{10} = -a_1, \\ a_{11} &= A_2a_2 - A_4a_7 - A_3, a_{12} = a_6, a_{13} = A_2a_4 - A_4a_8 - B_1, \\ a_{14} &= A_3 + A_4a_1 - A_6a_6, a_{15} = a_2, a_{16} = A_4a_2 - A_6a_7 - A_5, \\ a_{17} &= -a_7, a_{18} = A_4a_4 - A_6a_8 - B_2, \\ C_1^* &= a_3(C_5 + C_6) + a_0(C_1 + C_2), C_2^* = a_5(C_5 + C_6) - a_3(C_1 - C_2), \\ C_3^* &= A_2C_1^* - A_4C_2^* - C_3 - C_4, C_4^* = A_4C_1^* - A_6C_2^* - C_7 - C_8. \end{aligned} \quad (11)$$

Если ввести обозначения

$$y_1 = u, y_2 = w, y_3 = \varphi, y_4 = T_\alpha, y_5 = N_\alpha, y_6 = M_\alpha, \quad (12)$$

то система уравнений (10) для осесимметрично нагруженной оболочки вращения можно будет записать в общем виде:

$$\frac{dy_i}{d\alpha} = A_{ij}y_j + B_i, i, j = 1, 2, \dots 6. \quad (13)$$

Здесь A_{ij} – матрица коэффициентов однородной части, B_j – столбец неоднородных составляющих и нелинейных членов.

Значения A_{ij} и B_j легко определяются из (10). Для того чтобы система (13) стала замкнутой, к ней необходимо присоединить шесть граничных условий: по три на каждом торце оболочки.

$$(y_i - y_i^*)y_{i+3j} + (y_{i+3} - y_{i+3}^*)(1 - j_{i+3j}) = 0 \quad (14)$$

где $j=1,2$; $i=1,2,3$; причем $j=0$ на левом краю $j=1$ на правом.

Если нужно задать на краю оболочки кинематические граничные условия, то следует положить $j=1$, если статические, то $j=0$. Направление внешних усилий T_α^* , Q_α^* и внешнего момента M_α^* совпадают с направлениями внутренних силовых факторов, указанных на рисунке 4.

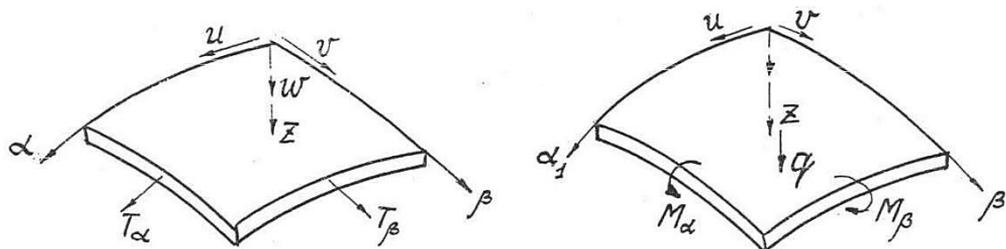


Рисунок 4 – Кинематические граничные условия на краю оболочки

После того, как искомые неизвестные $u, w, \varphi, T_\alpha, N_\alpha, M_\alpha$ будут найдены из решения краевой задачи (13), (14), через них можно определить деформации, по формулам (12) а также

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_\alpha &= a_1 \varepsilon_\beta + a_2 \tau_\beta + a_0 T_\alpha + a_3 M_\alpha + a_4 + C_1^*, \\
 \tau_\alpha &= a_6 \tau_\beta + a_7 \tau_\beta - a_3 T_\alpha + a_5 M_\alpha + a_8 + C_2^*, \\
 T_\beta &= a_9 \varepsilon_\beta + a_{11} \tau_\beta + a_{10} T_\alpha + a_{12} M_\alpha + a_{13} + C_3^*, \\
 M_\beta &= a_{14} \varepsilon_\beta + a_{16} \tau_\beta + a_{15} T_\alpha + a_{17} M_\alpha + a_{18} + C_4^*.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Примеры расчета. Численное решение задачи [13] позволило реализовать данный метод и получить кривые изменения деформаций в условиях ползучести [14]. Решение задачи иллюстрирует рисунок 5. Полная деформация постоянна и равна $0.34 \cdot 10^{-2}$, на рисунке 5 она изображена кривой 1. Распределение упруго-пластической деформации, полученной из точного решения, представлено кривой 2, а деформация ползучести кривой 3. Деформации $\varepsilon^{ep}(t)$ и $\varepsilon^c(t)$, полученные простым шаговым методом, представляют кривые 2,3 соответственно.

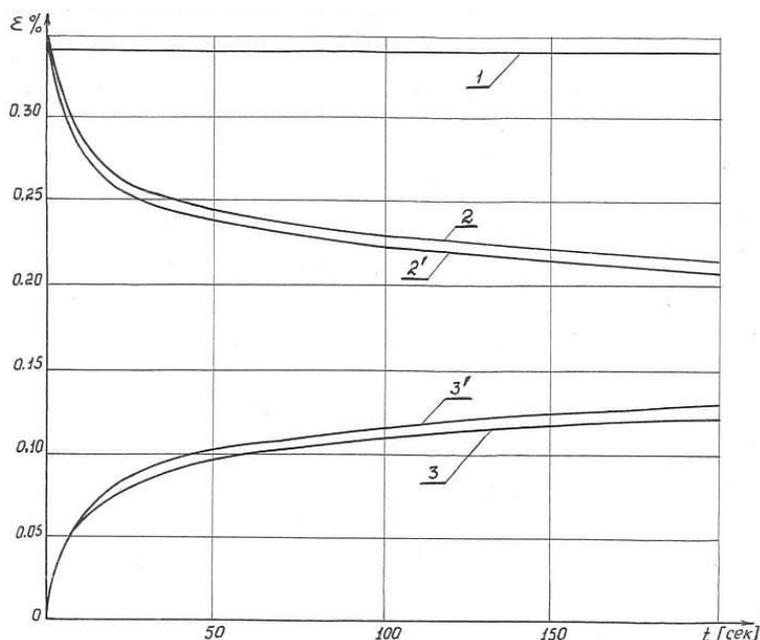


Рисунок 5 – Кривые изменения деформаций материала в условиях ползучести

На рисунке 6 кривой 1 изображена релаксация напряжений со временем, полученная при помощи точного решения, а кривой 1' – простого шагового метода, кривая 2 иллюстрирует релаксацию напряжений, полученную методом изохронных кривых.

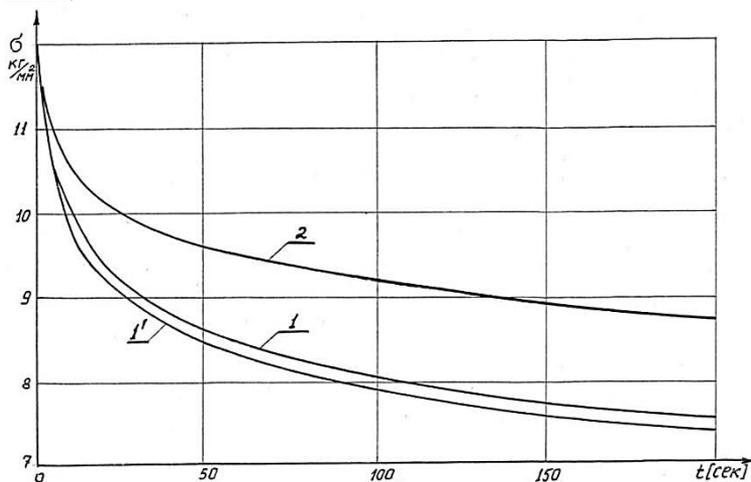


Рисунок 6 – Зависимость релаксации напряжений от времени

Выводы. Данный метод позволяет с достаточной степенью точности проводить расчет напряженно-деформированного состояния конструкций в условиях ползучести. Из сравнения кривых, полученных точным и численным методом.

Определить нарастание деформаций с течением времени. Расчеты показывают, что ошибка определения напряжения и деформации составляет 2-3 процента, а ошибка нахождения времени около 10-20 процентов.

Литература

1. Качанов Л.М. Теория ползучести // М.: Физматгиз. 1960. 389с.
2. Димитриенко Ю.И. Универсальные законы механики и электродинамики сплошных сред. Механика сплошной среды: учебное пособие в 4 т. // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, т.2. 2011. 559с.
3. Вольмир А.С., Липовцев Ю.В. Устойчивость оболочек в условиях ползучести // ПМТФ, 1995. № 4.
4. Дубровин В.М., Бутина Т.А. Моделирование процесса ползучести конструкционных материалов // Инженерный журнал «Наука и инновации» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. Вып. 9(21), 18с.
5. Сухинин С.Н., Глушко С.К., Немировский Ю.В. Прямые и обратные задачи механики упругих композитных пластин и оболочек вращения // М.: Физматгиз, 2008. 432 с.
6. Пачурин Г.В., Шевченко С.М., Дубинский В.Н., Власов О.В. Макросхемы высокотемпературной усталости и ползучести металлов и сплавов // НГТУ, 2006. 131с.
7. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем // М.: Наука, 1989.
8. Димитриенко Ю.И., Соколов А.П. Разработка численного метода расчета эффективных упругих характеристик композиционных материалов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. «Естественные науки», 2008. № 2. С.50-57.
9. Димитриенко Ю.И. Нелинейная механика сплошной среды // М.: Физматгиз, 2000. 624с.
10. Харлаб В.Д. Принципиальные вопросы линейной теории ползучести // СПб.: СПбГАСУ, 2014. 207с.
11. Москвичев В.В. Лекции по механике разрушения // Новосибирск: Сибирский федеральный университет, 2007. 90с.
12. Жилин П.А. Актуальные проблемы механики // СПб.: Институт проблем механики РАН, 2006. 306с.
13. Муштари Х.М., Галимов Г.З. Нелинейная теория упругих оболочек // Таткнигиздат, Казань. 1985.
14. Бахвалов И.С. Численные методы // М.: МГУ им М.В. Ломоносова, 2000. 636с.
15. Фролов К.В. Избранные труды, т.2, Машиноведение и машиностроение // М.: Наука, 2007. 523с.

УДК 674.815

Моделирование процесса охлаждения композиционных материалов

Д.В. Тулузаков, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Проектирование объектов лесного комплекса»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Мытищинский филиал,
г. Мытищи, Московская область,

С.В. Фролов, кандидат физико-математических наук,
профессор кафедры механики и инженерной графики,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Академия ГПС МЧС России», г. Москва,

Б.Л. Спирин, старший преподаватель кафедры механики и инженерной графики,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Академия ГПС МЧС России», г. Москва

В статье рассматриваются возможности построения модели состояния композиционного материала и охлаждающей среды для процессов его охлаждения после этапа прессования. Предлагается учитывать возникающие при данном процессе факторы появления градиентов температур в композите и в охлаждающей среде. Показано влияние данных факторов на ход процесса.

Композиты, композиционные материалы, прессование, кондиционирование.

Modeling the cooling process of composite materials

D.V. Tuluzakov, Ph.D, Associate Professor of the Department
of «Designing Forest Facilities»

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«MSTU named after N.E. Bauman» Mytishchi branch, Mytishchi, Moscow region,

S.V. Frolov, Ph.D, Professor of the Department
of Mechanics and Engineering Graphics,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academy of
the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia», Moscow,

B.L. Spirin, Senior Lecturer, Department of Mechanics and Engineering Graphics,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia», Moscow

This article discusses the possibilities of constructing a model of the state of a composite material and a cooling medium for its cooling processes after the pressing stage. It is proposed to take into account the factors of the appearance of temperature gradients in the composite and in the cooling medium that arise during this process. The influence of these factors on the process is shown.

Composites, composite materials, pressing, conditioning.

Процесс охлаждения или кондиционирования материалов из различных композиционных структур является важным этапом при получении изделия с заданными физико-механическими свойствами. Этот этап следует за процессом прессования композита и во многом определяет окончательные характеристики изделия.

При изучении стадии кондиционирования с целью достижения наиболее оптимальных результатов при создании материалов с наиболее приемлемыми для данных условий эксплуатации физическими свойствами используют различные оптимизационные модели. Такие модели позволяют в дальнейшем определять наиболее выгодные алгоритмы выпуска готовых изделий с учетом наиболее рационального использования природных ресурсов и уменьшения влияния различных отрицательных факторов на экологию.

Одной из основных задач охлаждения изделий из композиционных материалов является плавное выравнивание градиентов влажностных и температурных полей, возникающих в материалах при прессовании [1]. И, вследствие этого, устранение напряжений во внутренней структуре композита. Процесс кондиционирования изделия включает в себя охлаждение изделия и его последующую акклиматизацию. С одной стороны, высокая температура и влажность изделия приводят к высокой скорости деструкции связующего, а возможно, и разрушению составляющих композиционного материала и желательности наиболее быстрого охлаждения. А с другой стороны, высокая скорость охлаждения вызывает появления значительных температурных и влажностных градиентов, которые приводят к быстрому увеличению внутренних напряжений, и, как следствие, разрушению композитного материала внутренними силами, например, давлением парогазовой смеси.

Физические процессы изменения температуры и влажности композиционного материала при охлаждении во многом подобны этим же стадиям при прессовании композитного материала. Но в отличие от процесса прессования, значительным отличием этих фаз является более низкая температура из прохождения, и следствием этого является тот факт, что основу тепло-массопереноса составляет диффузия [2].

При акклиматизации композитов их обычно выдерживают в плотных стопах, но перед этим происходит конвективное охлаждение при сушке в различных температурных камерах или хотя бы при транспортировке их от пресса до места дальнейшей акклиматизации. При этих операциях возможно задание температуры, скорости, влажности и времени воздействия на композиционный материал воздушных потоков. Регулировать охлаждающие потоки возможно также через задание геометрии воздушных каналов и скорости прохождения охлаждающей среды.

Уменьшение погрешности в расчетах температурно-влажностных полей, которые возникают в объеме композиционного материала связано с определением наиболее оптимальных режимов его охлаждения с учетом факторов экологии возможно только при совместном решении задач тепло-, массо-, влагопереноса в составе единой модели, которая наиболее полно должна учитывать динамику изменения температурных и влажностных полей в структуре изделия. Также модель должна задавать параметры для решения задачи внешней среды, то есть измене-

ние параметров внешнего охлаждающего потока, его влажности, скорости и температуры при прохождении его через вентиляционные зазоры. Поэтому задача изменения характеристик потока охлаждения (внешняя задача) является задачей определения граничных условий для расчёта основной (внутренней) задачи изменений физических параметров в композиционном материале. При этом от изменения параметров композита, его влажности и температуры, зависят расчеты для задачи определения граничных условий.

В результате проведенных исследовательских расчетов было установлено, что использование в составе модели только некоторых средних значений охлаждающей среды, её скорости, влажностных и температурных характеристик, является совершенно недопустимым, поскольку все эти параметры значительно изменяются в процессе взаимодействия воздушного потока с композиционным материалом на границе раздела различных сред. Таким образом, полное решение задачи охлаждения композиционных материалов возможно только при решении сопряженной задачи, когда изменение параметров композита и свойств охлаждающей среды описываются системой дифференциальных уравнений, единой для обоих процессов.

Модель изменения состояния при прохождении через пакет

Рассмотрим композит, подвергаемый акклиматизации как пакет между отдельными элементами которого находятся воздушные зазоры для прохождения охлаждающей среды (рис. 1). Поток имеет некоторую начальную температуру и влажность, величина которых определяется возможностями установленного оборудования. Пакет композиционных материалов, состоящий из нескольких плит композита, также обладает некоторыми начальными значениями влажности и температуры, которые определяются конструктивными особенностями пресса, а также начальными параметрами составляющих данного композита.

По мере прохождения охлаждающей среды через пакет меняется её температура и влажность, а также, соответственно температура и влажность композита. Происходит выравнивание температуры и влажности охлаждающей среды и композита, в зависимости от скорости прохождения. И если в начале композита идет передача влажности от композита к среде, то в дальнейшем в зависимости от скорости возможен и обратный процесс, когда влажность среды может стать выше влажности композита.

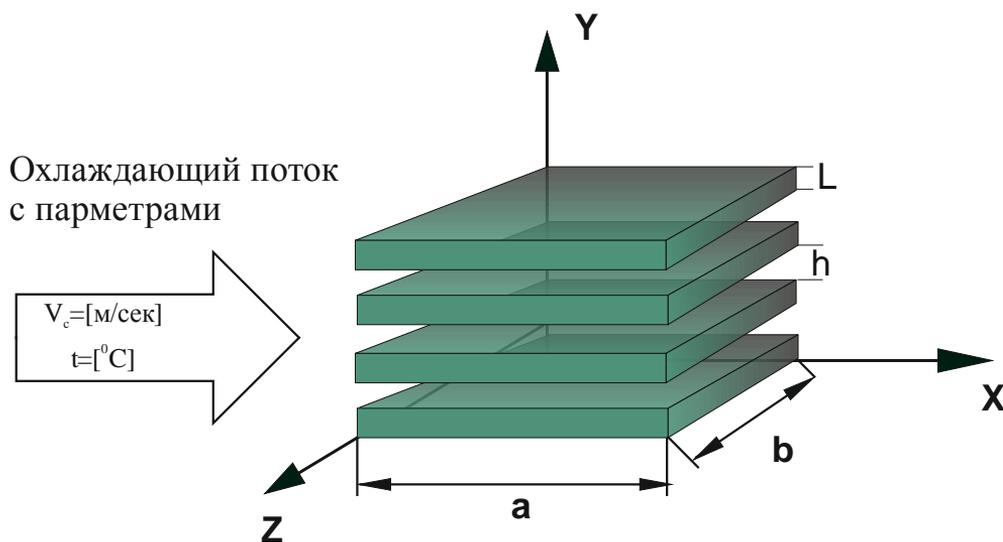


Рисунок 1 – Расчетная схема кондиционирования

По направлению оси X перемещается поток со скоростью v_c . Тепловой поток от каждой плиты данного пакета, которая расположена в плоскости параллельной XOZ, определяется по формуле теплопередачи Ньютона.

$$\Delta Q / \Delta \tau = \alpha \cdot (t_n - t_c) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad (1)$$

где $\Delta x \cdot \Delta y$ – элементарная площадки плиты, отдающей тепло среде, м;

α – коэффициент теплопередачи плиты, Вт/(м²·К);

t_n – температура элемента поверхности плиты, К;

t_c – температура среды над элементом поверхности, К.

Этот поток изменит в самом элементе объема ΔV , м³, за время $\Delta \tau$, с, плотность которого ρ_c , кг/м³, и удельную теплоемкость C_c , Дж/(кг·К), температуру охлаждающей среды на Δt_c , К, то есть

$$\Delta Q / \Delta \tau = \Delta V \cdot \rho_c \cdot C_c \cdot \Delta t_c \cdot \frac{1}{\Delta \tau} = \frac{h}{2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \rho_c \cdot C_c \cdot \Delta t_c \cdot \frac{1}{\Delta \tau} \quad (2)$$

Следовательно, дифференциальное уравнение, описывающее градиент температуры среды, запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial t_c}{\partial x} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot (t_c - t_n)}{h \cdot v_c \cdot \rho_c \cdot C_c} \quad (3)$$

При составлении уравнения баланса для содержания влаги, которая может как испаряться, так и поглощаться, рассмотрим следующую модель. Выделим в потоке охлаждающей среды элементарный параллелепипед с ребрами Δx , Δy , $h/2$, в который за время $\Delta \tau$ с поверхности $\Delta x \Delta y$ испарится объем влаги, имеющий массу, кг [1].

$$\Delta m = \beta \cdot \rho_0 \cdot (u_n - u_p) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta \tau, \quad (4)$$

где β – коэффициент массообмена, м/с;

ρ_0 – плотность композита в сухом виде, кг/м³;

u_n – влагосодержание на поверхности композита, формула (1);

u_p – равновесное влагосодержание, формула (1);

Эта влага изменит массу охлаждающей среды в выделенном элементарном объеме на следующую величину

$$\Delta m = \frac{h}{2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta \rho_c, \quad (5)$$

откуда, учитывая, что $\frac{\partial x}{\partial \tau} = v_c$ – скорость потока охлаждающей среды, дифференциальное уравнение для массообмена можно представить в следующем виде

$$\frac{\partial \rho_n}{\partial y} = \frac{2 \cdot \beta \cdot \rho_0 (u_n - u_p)}{h \cdot v_c}, \quad (6)$$

здесь ρ_0 – плотность сухого композита;

ρ_c – плотность потока среды.

Начальные условия, описывающие состояние охлаждающей среды, часто задаются в виде температуры среды в начале объекта, скорости потока среды, а также её начальной влажности φ_c . Зависимость между влажностью и плотностью среды задается следующим соотношением

$$\varphi_c = \rho_c / \rho_{п.н.}, \quad (7)$$

где $\rho_{п.н.}$ – плотность насыщенного пара.

Величину $\rho_{п.н.}$ можно определить по следующей формуле

$$\rho_{п.н.} = \frac{P_{п.н.}}{R \cdot t_c}, \quad (8)$$

где $P_{п.н.}$ – давление пара (насыщенного), Па;

R – газовая постоянная Дж/(кг·К).

Следовательно, модель состояния среды задается формулами (3) и (6). Данная модель в некоторый момент времени представляет из себя систему обыкновенных дифференциальных уравнений, в которые входят температура среды и её влажность. Данная задача может быть решена методами численного интегрирования. Этот результат для температуры среды и ее влажности определит сопряженную задачу, которая будет задавать граничные условия для задачи состояния композита, для внутренней задачи.

Важнейшей характеристикой пористого тела, имеющего влажность является равновесное влагосодержание [2]. Это влагосодержание входит как в граничные и в начальные условия для внутренней и сопряженной задачи, так и в систему дифференциальных уравнений теплопереноса и массопереноса. Зависимость от температуры и влажности окружающей среды равновесного влагосодержания является исходной для определения термодинамических параметров массо- и теплопереноса.

Экспериментальная аппроксимация этой зависимости выражается следующим выражением:

$$U_p = k^{\varphi_c} (m - n \cdot t_c), \quad (9)$$

где k, m, n – некоторые экспериментальные константы.

Для построения модели теплопередачи требуется оценить по времени закон изменения плотности теплового потока. Математическая модель возможного распределения температуры будет иметь вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$T(x, 0) = T_0(x)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ при } x = L$$

$$T(x_1, t_i) = Y_i$$

Задача заключается в том, чтобы оценить плотность теплового потока в некоторые дискретные моменты времени t_i в соответствии с выражением

$$q(t_i) = -k \left. \frac{\partial T(x, t_i)}{\partial x} \right|_{x=0}$$

Здесь в отличие от предыдущей задачи, граничное условие при $x=0$ не определено, однако известно значение температуры в одной или нескольких внутренних точках. Будем полагать, что плотность ρ , удельная теплоемкость c , а также коэффициент теплопроводности k нам известны. Плотность теплового потока на границе

$$q_{xi}(t) = -k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=xi} \quad (10)$$

Также необходимо учесть плотность теплового потока на границе неидеального контакта

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + g(x, t) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

где $g(x, t)$ – интенсивность выделения тепла в единице объема

Для данного случая одна из постановок задачи Коши для уравнения вида

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (10)$$

представлена в том, что граничные условия определены не полностью, однако можно получить данные для значений температуры во внутренних точках структуры композита.

Внутренняя задача

Система уравнений для переменных, описывающих состояние композита, можно записать следующим образом:

$$C(U, T) \cdot \rho_0(\sigma, U, T) \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda_{x_i}(U, T) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right] + \Delta H \cdot \frac{\partial g}{\partial \tau} ; (11)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = - \sum_{i=1}^3 \left[\frac{\partial}{\partial X_i} \left(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_i} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_i} \right) \right]; \quad (12)$$

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau} = (\mathcal{G}_k - \mathcal{G})^v \cdot M_0^{v-1} \cdot K_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (13)$$

здесь $C(U, T)$ – удельная теплоемкость композита, Дж/(кг·К);

$\rho_0(\sigma, U, T)$ – плотность композита, кг/м³;

$\lambda_{X_i}(U, T)$ – теплопроводность композита по координате X_i , Вт/(м·К);

ΔH – количество теплоты химической реакции отверждения;

a_m – коэффициент влагопроводности композита, м²/с;

δ – термоградиентный коэффициент, 1/К;

E – энергия, Дж/моль;

R – газовая постоянная Дж/(кг·К);

T – температура, К;

K_0 – экспонента, размерность которой такая же как

размерность коэффициента $k = K_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$;

M_0 – начальная концентрация вещества моль/л;

\mathcal{G}_k – конечная степень отверждения связующего;

$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau}$

– кинетика реакции отверждения;

$\frac{\partial U}{\partial \tau}$

– изменение влагосодержания композита.

Сопряженная задача

Система дифференциальных уравнений, которая задает параметры состояния композиционного материала

$$-\lambda_{X_1=a} \cdot \frac{\partial T(a, X_2, X_3, \tau)}{\partial X_1} + \alpha_{X_1} \cdot (T_c - T(a, X_2, X_3, \tau)) = 0; \quad (14)$$

$$\lambda_{X_1=0} \cdot \frac{\partial T(0, X_2, X_3, \tau)}{\partial X_1} + \alpha_{X_1} \cdot (T_c - T(0, X_2, X_3, \tau)) = 0; \quad (14a)$$

$$-\lambda_{X_2=b} \cdot \frac{\partial T(X_1, b, X_3, \tau)}{\partial X_2} + \alpha_{X_2} \cdot (T_c - T(X_1, b, X_3, \tau)) = 0; \quad (15)$$

$$\lambda_{X_2=0} \cdot \frac{\partial T(X_1, 0, X_3, \tau)}{\partial X_2} + \alpha_{X_2} \cdot (T_c - T(X_1, 0, X_3, \tau)) = 0; \quad (15a)$$

$$-\lambda_{X_2=b} \cdot \frac{\partial T(X_1, b, X_3, \tau)}{\partial X_2} + \alpha_{X_2} \cdot (T_c - T(X_1, b, X_3, \tau)) = 0; \quad (15б)$$

$$\lambda_{X_2=0} \cdot \frac{\partial T(X_1, 0, X_3, \tau)}{\partial X_2} + \alpha_{X_2} \cdot (T_c - T(X_1, 0, X_3, \tau)) = 0; \quad (15в)$$

$$-\lambda_{X_3=h} \cdot \frac{\partial T(X_1, X_2, h, \tau)}{\partial X_3} + \alpha_{X_3} \cdot (T_c - T(X_1, X_2, h, \tau)) = 0; \quad (16)$$

$$\lambda_{X_3=0} \cdot \frac{\partial T(X_1, X_2, 0, \tau)}{\partial X_3} + \alpha_{X_3} \cdot (T_c - T(X_1, X_2, 0, \tau)) = 0; \quad (16a)$$

$$-(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_1} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_1})_{X_1=a} = a_m \cdot (U_{X_1=a} - U_p); \quad (16б)$$

$$(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_1} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_1})_{X_1=0} = a_m \cdot (U_{X_1=0} - U_p); \quad (17)$$

$$-(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_2} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_2})_{X_2=b} = a_m \cdot (U_{X_2=b} - U_p); \quad (17a)$$

$$(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_2} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_2})_{X_2=0} = a_m \cdot (U_{X_2=0} - U_p); \quad (18)$$

$$-(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_3} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_3})_{X_3=h} = a_m \cdot (U_{X_3=h} - U_p); \quad (18a)$$

$$(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial X_3} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial X_3})_{X_3=0} = a_m \cdot (U_{X_3=0} - U_p), \quad (19)$$

где в выражениях (14)-(19) использованы обозначения:

a – размер плиты по координате X_1 ;

b – размер плиты по координате X_2 ;

h – размер плиты по координате X_3 .

Система уравнений (1)-(26) представляет из себя корректную математиче-

скую модель, представленную через дифференциальные уравнения, которая позволяет всесторонне исследовать процесс охлаждения плитных композиционных материалов.

Уравнение (8) объединяет задачи для внешней среды и внутреннего состояния композита в единую сопряженную модель.

Пример работы модели

Для проверки корректности модели нами были взяты следующие данные (табл. 1):

Таблица 1 – Исходные данные для работы программы.

Длина композита	м	4
Толщина композита	мм	20
Высота зазора окружающей среды	мм	20
Начальная влажность композита		0,1
Начальная температура композита	оС	80
Базовая плотность композита	кг/м ³	700

Результаты работы программы, использующей данную модель, приведены на рисунках 2-5.

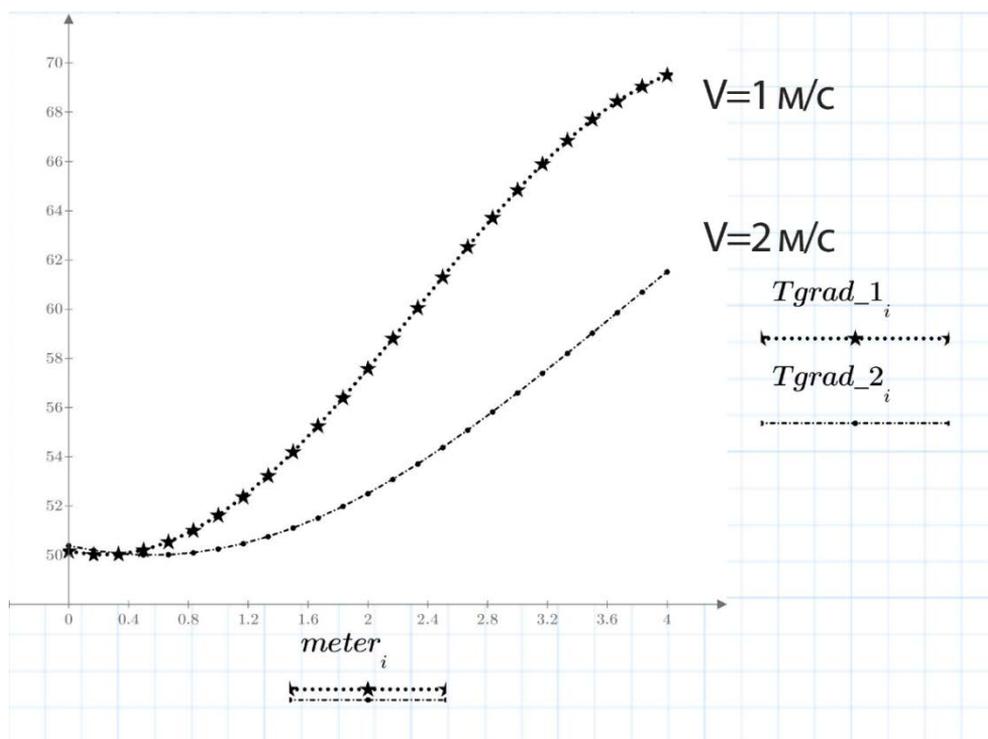


Рисунок 2 – Температурные градиенты на поверхности композита при режимах охлаждения, $v = 1$ м/с и $v = 2$ м/с: распределение температуры охлаждающего потока вдоль композита

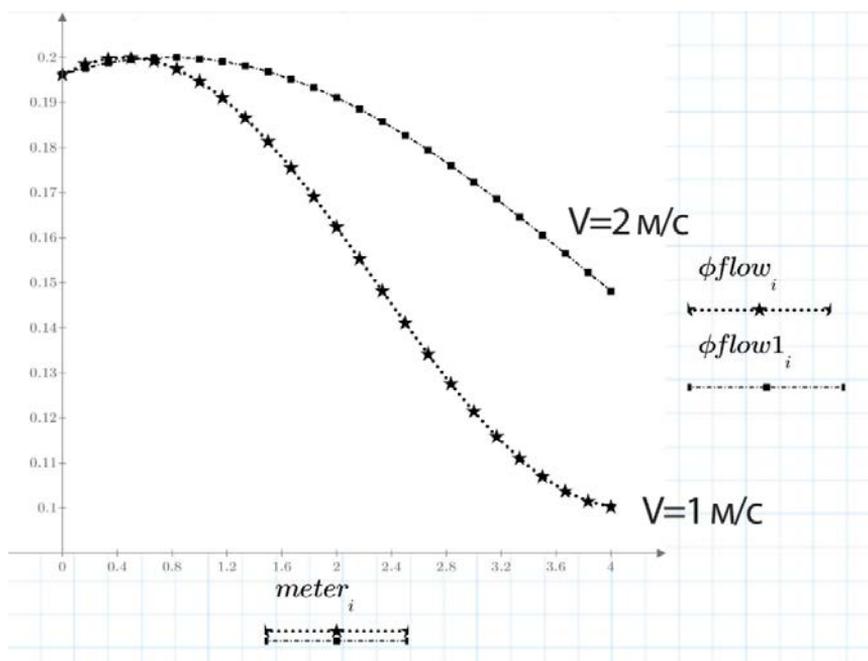


Рисунок 3 – Влажностные градиенты на поверхности композита при следующих режимах охлаждения, $v = 1 \text{ м/с}$ и $v = 2 \text{ м/с}$: распределение влажности охлаждающей среды вдоль продольной поверхности композита

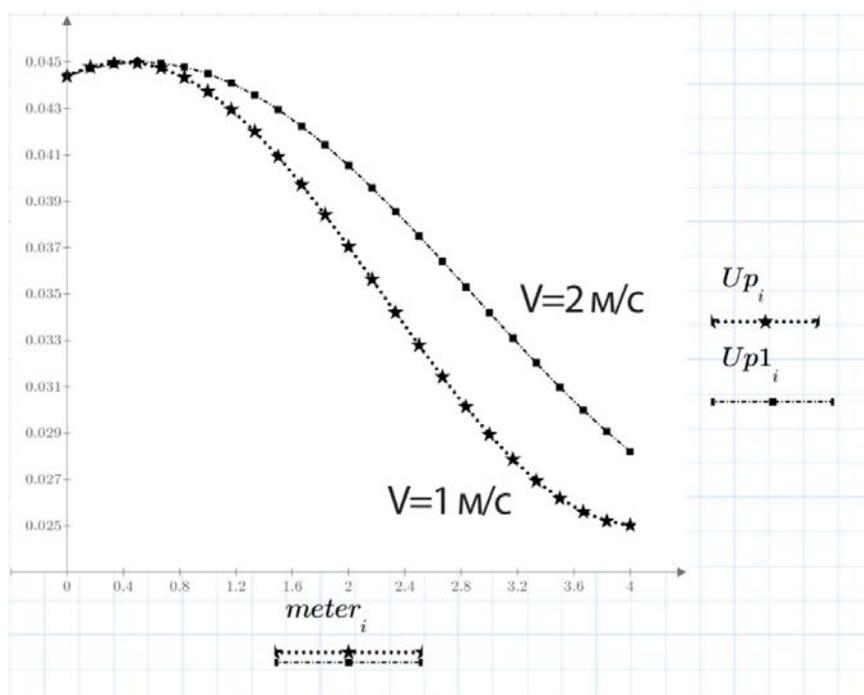


Рисунок 4 – Влажностные градиенты на поверхности композита при следующих режимах охлаждения, $v = 1 \text{ м/с}$ и $v = 2 \text{ м/с}$: распределение равновесной влажности вдоль продольной поверхности композита

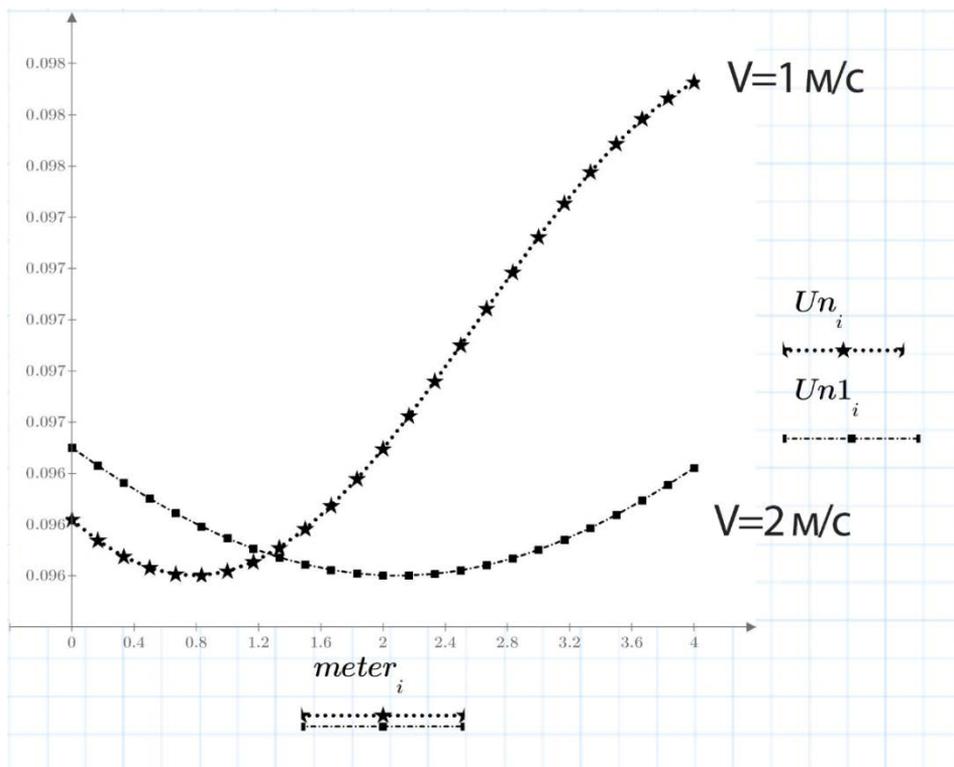


Рисунок 5 – Влажностные градиенты на поверхности композита при следующих режимах охлаждения, $v = 1$ м/с и $v = 2$ м/с: распределение влажности поверхности композита

Выводы:

1) Расчеты дифференциальной модели показывают наличие значительных полей влажности и температуры в композиционном материале, следовательно, целью охлаждения композиционных материалов является выравнивание температурного и влажностного градиентов оптимальным образом. При этом должны быть учтены по-максимуму все возможные варианты и зависимости состояния композиционного материала от внешних условий и состояния окружающей среды.

2) Из анализа результатов моделирования следует, что часто принимаемые в исследованиях кондиционирования композиционных материалов допущения о постоянстве температуры и влажности по координате X, вносят значительные ошибки в конечный результат даже для одномерного случая.

Таким образом, проведение расчетов по представленной дифференциальной модели позволяет существенно повысить их точность результатов при анализе процессов охлаждения композиционных материалов, а также позволит более оптимально выбрать стратегию охлаждения композита с учетом всех существенных для последующего применения его в работе факторов.

Литература

1. Алифанов О.М. Обратные задачи в исследовании сложного теплообмена // М.: Янус-К, 2009 299 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки // М.: Энергия, 1968. 471 с.
3. Солодов А.П. Очков В.Ф. МАТНСАД Дифференциальные модели // М.: МЭИ, 2002. 239 с.

УДК 669.15-198

**Анализ показателей качества ферросплавной
металлургической продукции**

С.В. Фролов, кандидат физико-математических наук,
профессор кафедры механики и инженерной графики,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Академия ГПС МЧС России», г. Москва

В статье приводятся способы оценки различий в результатах измерений содержания основных компонентов в ферросплавах (показателях качества), получаемых двумя испытательными лабораториями. Представлен анализ допустимых расхождений между результатами измерений на основе критериев выделения диапазона случайных расхождений от неслучайных.

Ферроматериалы, погрешность, случайные расхождения, пробоподготовка.

Analysis of the quality of ferroalloy steel products

S.V. Frolov, Ph.D, Professor of the Department
of Mechanics and Engineering Graphics,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia», Moscow

The article provides ways to assess the differences in the results of measurements of the content of the main components in ferroalloys (quality indicators) obtained by the two test laboratories. An analysis of the permissible discrepancies between the results of measurements based on the criteria for highlighting the range of random discrepancies from non-random.

Ferromaterials, error, random discrepancies, trial preparation.

Между производителями и потребителями ферросплавной металлургической продукции часто возникают спорные вопросы, касающиеся заявленной в декларации производителя величины содержания того или иного основного химического элемента (показателя качества) в конкретной анализируемой партии материала. Разногласия такого характера связаны с несовпадением результатов входного контроля соответствующего показателя качества ферросплава, выполненного лабораторией потребителя, с данными паспорта-сертификата производителя. Как показывает опыт, разрешение такого рода вопросов расхождений результатов измерений, выполненных стандартизованными методами, часто возможно только после детального рассмотрения характеристик погрешности (неопределенности) результата установления химического состава контролируемого материала, который определяется не только точностными характеристиками метода измерения химического состава, но и степенью соответствия содержания компонентов в пробе и общей массе контролируемого материала [1].

Погрешность результата измерения массовой доли элемента для какой-либо партии ферроматериала при реализации метода количественного химического анализа (КХА) отделенной от этой партии и подготовленной к анализу пробы определяют из выражения [2]:

$$\Delta = 2\sqrt{\sigma_{отб}^2 + \sigma_{подг}^2 + \sigma_m^2}, \quad (1)$$

где

Δ – общая погрешность результата определения массовой доли элемента (показателя качества) для одной партии ферроматериала.

$\sigma_{отб}^2$ – дисперсия, характеризующая погрешность результата определения массовой доли элемента, возникающую из-за того, что анализируется не вся партия материала, а ее часть в виде отобранной пробы.

$\sigma_{подг}^2$ – дисперсия, характеризующая погрешность результата определения массовой доли элемента, возникающую из-за того, что анализируется не вся отобранная проба, а ее часть в виде лабораторной пробы.

σ_m^2 – дисперсия, характеризующая погрешность метода измерения.

Как известно, дисперсией (σ) случайной величины называют математическое ожидание квадрата отклонения этой величины от ее математического ожидания.

Анализ приемлемости расхождений в значениях результатов измерений химического состава партии материала между производителем и потребителем базируется на известной в математической статистике задаче о случайном или неслучайном расхождении средних значений. Основой для этого являются фундаментальные свойства дисперсии:

– Дисперсия **суммы** двух независимых случайных величин равна **сумме** дисперсий этих величин;

– Дисперсия **разности** двух независимых случайных величин равна **сумме** дисперсий этих величин.

Пусть проводятся две серии измерений некоторой величины X . Для каждой серии подсчитывают среднее значение параметров X_{1cp} и X_{2cp} . Задача сводится к тому, при каком значении разности $|X_{1cp} - X_{2cp}|$ можно делать вывод о неслучайном происхождении обнаруженных различий. Причем обнаруженные неслучайные различия могут свидетельствовать о наличии систематических погрешностей, об обнаружении другого качества материала, сильной (превышающую допустимую) неоднородности материала, свидетельствующей о некачественной продукции и прочее.

Допустим, произведено N_1 независимых равноточных измерений в первой серии и N_2 – во второй, с известными соответствующими дисперсиями σ_1^2 и σ_2^2 . Средние значения результатов измерений в первой и второй сериях – X_{1cp} и X_{2cp} . Для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении этих средних значений подсчитывается значение отношения (называемое тестовой статистикой):

$$\frac{|X_{1cp} - X_{2cp}|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \quad (2)$$

и сравнивается с табличным значением для функции U при заданной вероятности вывода P.

Функция U имеет стандартное нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, т.е. $U \sim n(0;1)$. Далее задается желаемая вероятность вывода P и по таблице квантилей стандартного нормального распределения $n(0;1)$ находятся соответствующие значения U (P). Например, при принятом для КХА $P=0,95$ $U=1,96$, а для $P=0,99$ $U=2,576$.

Если абсолютная величина тестовой статистики (2) превосходит найденное значение U (P), то расхождение средних значений можно считать неслучайным (значимым) с надежностью вывода P. В противном случае нет оснований считать расхождение значимым, т.е. оно может быть объяснено случайными отклонениями.

Если обе серии измерений проведены с одинаковой дисперсией $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ (например, две лаборатории проводят измерения величины X одним и тем же методом с известной дисперсией σ^2), то отношение (2) имеет вид:

$$\frac{|X_1cp - X_2cp|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (3)$$

В случае проведения измерений величины X с известной дисперсией σ^2 и нахождения средних значений X_{cp} при известном опорном значении этой величины μ для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении найденного среднего значения X_{cp} и опорного значения μ используется следующая тестовая статистика:

$$\frac{|X_{cp} - \mu|}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}} \quad \text{или} \quad \frac{|X_{cp} - \mu|}{\sigma} \cdot \sqrt{N}, \quad (4)$$

где N – количество равнозначных измерений величины X.

Для вероятности $P=0,95$ $U(P)=1,96$, в этом случае значение выражения (4) сравнивается с табличным значением $U(P)=1,96$.

Вышеприведенный критерий (4) также позволяет установить наличие или отсутствие систематической погрешности лаборатории – СПЛ (подробная процедура описана в стандарте ГОСТ Р 5725 [4]).

Так, согласно [4], $|X_{cp} - \mu|$ – оценка систематической погрешности лаборатории, и СПЛ считается выявленной, если выполняется неравенство:

$$|X_{cp} - \mu| > \frac{1,96\sigma_r}{\sqrt{N}}, \quad \text{где} \quad (5)$$

σ_r – генеральное СКО повторяемости. Если выполняется неравенство (5), то расхождение между средним значением результатов измерения при оценивании μ и принятым опорным значением измеряемой характеристики – μ является неслучайным с надежностью вывода 0,95.

Можно обратить внимание, что приводимые в стандарте ГОСТ Р 5725 [4] выражения для пределов повторяемости r и воспроизводимости R наблюдаемых значений случайной величины X при использовании стандартизованных методов измерений

$$r = 1,96 \sqrt{2} \sigma_r = 2,77 \sigma_r \quad \text{и} \quad R = 1,96 \sqrt{2} \sigma_R = 2,77 \sigma_R \quad (6)$$

вытекают из выражения (2) как частные случаи при $N_1 = 1$ и $N_2 = 1$.

Для выяснения вопроса о случайном или неслучайном расхождении средних значений X_{1cp} и X_{2cp} при **неизвестной** дисперсии σ используется отношение:

$$\frac{|X_{1cp} - X_{2cp}|}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}, \quad (7)$$

где $S = \sqrt{\frac{\kappa_1 S_1^2 + \kappa_2 S_2^2}{\kappa_1 + \kappa_2}}$, (8)

S_1 и S_2 – среднеквадратические отклонения для X_{1cp} и X_{2cp} соответственно;

$$\kappa_1 = N_1 - 1, \quad \kappa_2 = N_2 - 1.$$

В этом случае тестовую статистику (7) сравнивают с $t(P, k)$ – критерием Стьюдента с k степенями свободы ($k = \kappa_1 + \kappa_2 = N_1 + N_2 - 2$) и задаваемой вероятностью вывода P .

Анализ результатов

Пусть две независимые лаборатории №1 и №2 получили после проведенного в соответствии с ГОСТ 26201-84 проботбора образцы ферромолибдена для определения массовой доли Mo по ГОСТ 13151.1-89. Результат содержания Mo определялся как среднее из трех параллельных измерений. Каждая лаборатория осуществляла пробоподготовку самостоятельно и получила по два средних результата через небольшой промежуток времени.

Результаты измерений: $X_{11} = 60,2\%$, $X_{12} = 60,4\%$ – для лаборатории № 1 и $X_{21} = 59,2\%$, $X_{22} = 59,0\%$ – для лаборатории № 2.

В таблице 1, согласно [3], приведены точностные нормы при определении массовой доли Mo .

Таблица 1 – Нормы точности и нормы контроля точности при определении массовой доли молибдена по ГОСТ 13151.1-89

Массовая доля Mo , %	Погрешность Δ , %	Допускаемые расхождения, %		
		Расхождения двух результатов анализа dk	Двух параллельных определений $d2$	Трех параллельных определений $d3$
От 45 до 80	0,4	0,5	0,4	0,5

Погрешность подготовки проб $\pm \beta\pi$ ферромолибдена согласно ГОСТ26201-84 установлена $\beta\pi = 0,60\%$.

Рассмотрим варианты расхождений результатов измерений массовой доли **Mo** для лаборатории №1 и расхождения между лаб.№1 и лаб.№2 и ответим на два вопроса:

1. Случайно или неслучайно расхождение результатов измерений для первой лаборатории?
2. Случайно или неслучайно расхождение результатов измерений между первой и второй лабораторией?

Для ответа на **вопрос 1** определяем σ_{cx} или σ_{Γ} из приведенных в таблице 1 норм точности с учетом того, что

$$d3 = 3,31\sigma_{\Gamma} \text{ или } d3 = 3,31\sigma_{cx} \\ 0,5 = 3,31\sigma_{cx} \rightarrow \sigma_{cx} = 0,15\%$$

По критерию (3) вычисляем тестовую статистику:

$$\frac{|X_{12cp} - X_{11cp}|}{\sigma_{cx} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} = \frac{|60,4 - 60,2|}{0,15 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}} = 1,64 \quad (9)$$

Для вероятности 0,95 $U=1,96$. Значение вычисленного отношения $1,64 < 1,96$ и делается вывод о случайном расхождении средних результатов измерений $X_{11} = 60,2$ и $X_{12} = 60,4$ для лаборатории №1.

Согласно [1] случайную погрешность ε_{cx} среднего результата измерений, определяемую изменчивостью результатов параллельных измерений, рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon_{cx} = \pm \frac{1,96\sigma_{cx}}{\sqrt{N}}, \quad (10)$$

где 1,96 – значение U-квантиля стандартного нормального распределения для доверительной вероятности $P=0,95$; N – число параллельных измерений; σ_{cx} – генеральное СКО сходимости.

Случайную погрешность ε_k общего среднего результата межлабораторного (кругового) эксперимента, определяемую изменчивостью средних результатов анализа в разных химико-аналитических лабораториях, определяют по уравнению

$$\varepsilon_k = \pm \frac{1,96\sigma_k}{\sqrt{N_k}}, \quad (11)$$

где N_k – число средних результатов, полученных при межлабораторном эксперименте (при одном среднем результате, полученном от каждой лаборатории, N_k – число лабораторий);

σ_k – генеральное СКО межлабораторного эксперимента, что соответствует σ_R по ГОСТ Р 5725.

При этом доверительные границы случайных погрешностей $\epsilon_{сх}$ и $\epsilon_{к}$ при $N=1$ и $N_{к}=1$ выражаются

$$\epsilon_{сх} = \pm 1,96\sigma_{сх} \quad \text{и} \quad \epsilon_{к} = \pm 1,96\sigma_{к}$$

Границы абсолютной погрешности результата измерения химического состава для доверительной вероятности 0,95 определяются из соотношения

$$\Delta = 2,2\sigma_{к}$$

Это соотношение было рассчитано с учетом того, что в отрасли черной металлургии допускаются к применению для контроля продукции методики, для которых неисключенная систематическая погрешность, оцененная путем воспроизведения аттестованных характеристик стандартного образца СО, не превышает $0,5\sigma_{к}$. Допустимая погрешность используемых СО для химического анализа нормируется на уровне $0,8\sigma_{к}$ [2].

Для ответа на **вопрос 2** из приведенных в условии примера норм точности определяем $\sigma_{к}$ – генеральное СКО средних результатов межлабораторного (кругового) эксперимента. Согласно [2] граница погрешности результата измерения методами количественного химического анализа для отрасли черной металлургии

$$\Delta = 2,2\sigma_{к}$$

$$0,4 = 2,2\sigma_{к} \rightarrow \sigma_{к} = 0,18\%$$

Также, значение $\sigma_{к} = 0,18\%$ можно было получить, используя выражение для предела воспроизводимости [4]: $R = 2,77\sigma_{R}$ или $d_{к} = 2,77\sigma_{к}$.

С учетом заданной в условии примера нормы для $d_{к} = 0,5$ имеем:

$$0,5 = 2,77\sigma_{к} \rightarrow \sigma_{к} = 0,18\%.$$

Далее определяем $\sigma_{сум}$ – суммарное (учитывающее $\sigma_{к}$ и $\sigma_{подг}$) генеральное СКО: $\sigma_{сум}^2 = \sigma_{к}^2 + \sigma_{подг}^2$. Из [1] $\beta_{п} = 2\sigma_{подг}$

$$0,60 = 2\sigma_{подг} \rightarrow \sigma_{подг} = 0,30\%$$

$$\text{Тогда } \sigma_{сум}^2 = \sigma_{к}^2 + \sigma_{подг}^2 = \{0,18^2 + 0,30^2\} \rightarrow \sigma_{сум} = 0,35\%$$

По критерию (3) определим тестовую статистику:

$$\frac{|X_{1cp} - X_{2cp}|}{\sigma_{сум} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} = \frac{|60,4 - 59,2|}{0,35 \sqrt{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}}} = 2,42 \quad (12)$$

Полученное значение 2,42 превышает 1,96 и свидетельствует о сильной неоднородности отобранной партии ферромолибдена, что свидетельствует о скрытых нарушениях в общей цепи доведения металлопродукта до потребителя и требует дальнейшего серьезного анализа.

Используя выражение (12) и приравнивая левую часть его к $U(P) = 1,96$ автоматически находим предельно допустимые расхождения (являющиеся приемлемыми) между результатами двух лабораторий с вероятностью вывода 0,95. Для рассматриваемого **примера 2**:

$$\frac{|X_{1cp} - X_{2cp}|}{\sigma_{\text{сум}} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} = \frac{|X_{1cp} - X_{2cp}|}{0,35 \sqrt{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}}} = 1,96 \rightarrow |X_{1cp} - X_{2cp}| = 0,97 \%. \quad (14)$$

В том случае, если $|X_{1cp} - X_{2cp}|$ превышает 0,97 %, расхождения между средними результатами двух лабораторий являются неслучайными.

Таким образом, большинство спорных ситуаций между производителями и потребителями ферросплавной металлургической продукции, связанных с расхождением результатов анализа массовых долей основных химических компонентов, можно гарантированно разрешить с помощью представленного статистического анализа.

Литература

1. Метрологическое обеспечение контроля состава материалов черной металлургии. Справочник // М. 1988. С.88-89.
2. ГОСТ 17260-87. Ферросплавы, хром и марганец металлические. Общие требования к отбору и подготовке проб для химического анализа.
3. ГОСТ 13151.1-89. Ферромolibден. Метод определения молибдена.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

УДК 621, 62.5

Реализация системы управления проектно-производственной деятельностью для создания сложной технической продукции

А.В. Цырков, доктор технических наук,
профессор, главный научный сотрудник,

Е.С. Юрцев, заместитель директора центра,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Научно-производственное объединение «Техномаш» (ФГУП «НПО
«Техномаш» им. С.А. Афанасьева), г. Москва,

А.В. Рагуткин, кандидат технических наук, проректор
по инновационному развитию,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»
(РТУ МИРЭА), г. Москва,

Г.А. Цырков, кандидат технических наук, доцент кафедры,
Е.А. Ермохин, заведующий лабораторией,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)» (МАИ), г. Москва

Рассматривается реализация системы управления проектно-производственной деятельностью в процессах создания сложных технических систем. В основе решения лежит метод проектно-операционного управления, основанный на унификации представления процессов по различным стадиям жизненного цикла изделия. Модель проектно-производственной среды объединяет работы различных подразделений: конструкторских, логистических, технологических, производственных. Генерация исходной информации для построения базового информационного объекта системы осуществляется с использованием баз знаний.

Построение системы согласуется с основными положениями концепции «Индустрия-4.0». Предлагается схема организации цифровых двойников.

Приведен состав основных процедур системы. Реализация программного обеспечения системы построена на микро-сервисной архитектуре.

Проектно-операционное управление, сложная техническая система; цифровые двойники; производственно-технологические данные; базы знаний; жизненный цикл продукции; *BPM; PLM; ERP; MES*.

Implementation of design-production operations management system for complex products engineering

A.V. Tsyrcov, doctor of technical Sciences, Professor, chief researcher,

E.S. Yurtsev, Deputy Director of the center,
Federal state unitary enterprise «Scientific and production Association «Technomash
(FSUE «NPO «Technomash» them. S. A. Afanasyeva), Moscow,
A.V. Ragutkin, Ph. D., Vice-rector for innovation development,
Federal state budget educational institution of higher education «MIREA – Russian
Technological University» (RTU MIREA), Moscow,
G.A. Tsyrcov, Ph. D., associate Professor,
Y.A. Yermokhin, head of laboratory,
Federal state budget educational institution of higher education
«Moscow aviation Institute (National research University) » (MAI), Moscow

Implementation of design-production operations management system in the processes of complex products engineering is considered. The solution is based on the method of design-operation management, which is focused on processes representation unification in different life cycle stages of the product. A model of design-production environment combines efforts of various departments: engineering, logistics, technological, production. Generation of initial information for basic information object building of the system is carrying out using knowledge bases.

Building of the system is in agreement with fundamentals of the Industry 4.0 concept. A schematic structure of digital twins is suggested.

A list of system's main components of the software is given. System's software implementation is based on micro-service architecture.

Design-production management, complex technical system; digital twins; manufacturing and process data; knowledge base; product life cycle; *BPM*; *PLM*; *ERP*; *MES*.

Для предприятий ракетно-космической промышленности (РКП) рассматриваются варианты построения перспективного программно-методического комплекса, унифицирующего процессы управления проектно-производственной деятельностью. Решение задачи выполняется в рамках реализации элементов концепции «Индустрия-4.0». Проводится выбор базовой платформы, по возможности, среди отечественных разработчиков *PLM* (*Product Lifecycle Management*), *ERP* (*Enterprise Resource Planning*) и *MES* (*Manufacturing Execution System*) комплексов, а также программных решений по интеграции и обмену базовыми информационными объектами (состав изделий, описание процессов, ...) между системами.

Изделия ракетно-космической техники (РКТ) специального и общегражданского назначения, особенно создаваемые по индивидуальным заказам, могут быть отнесены к разряду сложных технических систем (СТС). Реализация концепции «Индустрия-4.0» на предприятиях машиностроения предполагает построение высокотехнологичного производства (ВТП), способного в короткие сроки и с высоким качеством разрабатывать и изготавливать новые, в том числе уникальные изделия, требует организации системы управления, основанной на новых принципах и подходах. В процессе создания ВТП формируется комплексное решение, основными элементами которого можно выстроить по направлениям:

- управление жизненным циклом (ЖЦ) продукции;
- автоматизация решения задач проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства;
- ресурсное моделирование процессов создания СТС;
- организация потоков работ по созданию СТС на принципах бережливого производства;
- внедрение новых материальных технологий;
- реализация методов управления качеством.

Повышение эффективности деятельности закладывается в основу организации ВТП и должно оно быть обеспечено как совершенствованием материально-технической базы, так и новой системой управления предприятием. В основу построения системы положен метод проектно-операционного управления (ПОУ, [2]). ПОУ интегрирует бизнес-процессы (б/п) на уровне основной деятельности всего предприятия, реализуя расширенный функционал *BPM (Business Process Management)* систем, включая процедуры оптимизации загрузки предприятия. Новое решение направлено на унификацию управления, мониторинга и обмена информацией по процессам, функционально связанным с системами *PLM, MES* и *ERP*. Методика планирования, созданная для ПОУ, объединяет способы управления на основе модели потока работ (*Work Flow*), принятые в *PLM* системах, и алгоритмы *MRP-II/APS (Manufacturing Resource Planning/Advanced Planning and Scheduling)*, принятые в *ERP* системах.

Структурная схема реализации системы проектно-операционного управления предприятием приведена на рисунке 1.

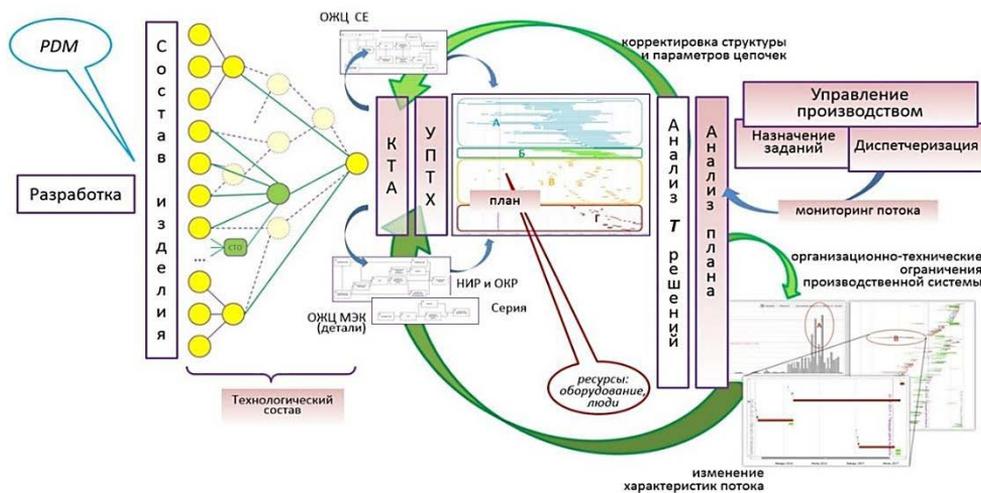


Рисунок 1 – Структурная схема системы проектно-операционного управления предприятием

В представленной схеме системы управления исходная информация, необходимая для упорядочивания работ и балансировки загрузки подразделений, поступает из следующих источников:

- Конструкторский состав изделия – из *PDM (Product Data Management)* системы. (и1)
- Схемные решения (маршруты), описывающие б/п создания (разработки и изготовления) элементов изделий, включающие этапы работ различных подразделений. (и2)
- Операционные (подробные) описания отдельных этапов работ, входящих в схемные решения. (и3)
- Описания состава трудовых ресурсов подразделений (люди, критическое оборудование), участвующих в реализации основной деятельности. (и4)
- Портфель заказов на НИОКР и выпуск серийной продукции на рассматриваемый горизонт планирования по предприятию. (и5)

Методы решения задач на этапах обработки модели и информационные потоки в процессах формирования решений являются сложными и многосвязными, поэтому неизбежным является итерационный характер процессов описания как б/п, так и непосредственно изделий. Необходимо учитывать, что процессы проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства должны, по возможности, проходить в потоке «нисходящих» действий, последовательно формирующих описание изделий в процессах разработки. На этапах процесса происходит уточнение проектных, конструкторских, технологических и производственных решений. Важнейшей задачей для поддержания при этом принципов «нисходящего» проектирования является сохранение решений, выработанных на ранних стадиях (этапах), в активном состоянии, с целью исключения повторных действий по их получению/актуализации и, соответственно, увеличения трудоемкости и длительности процессов разработки.

Основными процедурами обработки модели проектно-производственной среды (ППС) являются следующие семь:

- Формирование технологического состава изделия (1)
- Проведение конструктивно-технологического анализа (КТА). Генерация и корректировка элементарных маршрутов (цепочек) (2)
- Определение состояния управляющих производственно-технологических характеристик (УПТХ). Расчет параметров потока (3)
- Выполнение действий по планированию и перепланированию процессов (4)
- Проведение анализа на исполнимость плана по комплексу проектных и производственных работ для текущего портфеля заказов (5)
- Проведение анализа локальных производственно-технологических решений. Анализ трудозатрат и длительности выполнения работ (6)
- Регулярные действия по управлению проектно-производственной деятельностью (7)

Процедуры выполняются последовательно в пределах формируемого плана работ по предприятию, но неизбежно возникающие изменения состояния внешних данных (и1...и5), а также отклонения в характеристиках потока работ,

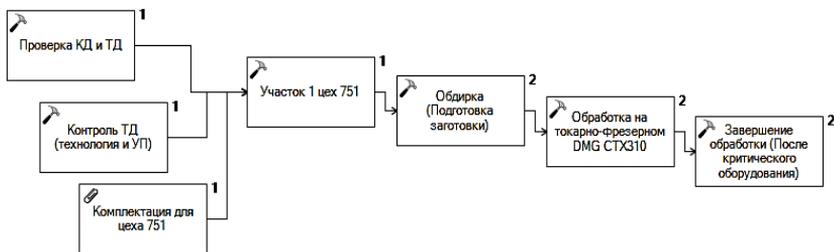
порождаемые вследствие нарушения его дисциплины, – приводят к необходимости повторной обработки модели состояния ППС, включая процедуры перепланирования (4).

Среди причин, побуждающих преобразование конструкторского состава в технологический состав (1), можно выделить две основные: необходимость описания сложных процессов сборочно-монтажных работ, объединяющих в своих процессах изготовление нескольких конструктивно-обособленных систем; корректировка структуры производственных процессов, позволяющая изменить интенсивность работ и загрузку по подразделениям и контрагентам. Кроме того, в технологический состав могут включаться описания средств технологического оснащения (СТО), для планирования их создания совместно с объектами основного производства. Данные преобразования могут затрагивать изделие не целиком и не все одновременно обрабатываемые изделия.

Действия по проведению КТА (2) позволяют получить значения данных по группам конструкторско-технологических характеристик (КТХ, рис. 2): конструкторских, технологических, производственных и т.п. КТХ используются для генерации исходных описаний схемных решений, определяющих бизнес-процессы (б/п) на маршрутном уровне представления работ по разработке и изготовлению. Для генерации используются базы знаний (БЗ). На рисунке 3 представлена обобщенная схема модели б/п ЖЦ элемента СТС [3], которая использована при построении БЗ. Генерация элементарных цепочек осуществляется на уровне объединенного состава работ, контролируемого *PLM* и *ERP* системами, т.е. объединенных жизненных циклов (ОЖЦ). Структура ОЖЦ для подобных между собой ДСЕ различается на уровнях НИОКР и серийного производства. Результаты применения процедуры генерации маршрутов (этапов работ) для различных значений КТХ, приведены на рисунке 4: фрагмент «а» содержит прототип маршрута на создание детали при выполнении ОКР; «б» – на создание детали в серийном производстве с использованием критического оборудования; «в» – на деталь в серийном производстве в условиях межзаводской кооперации (МЗК).

Генерация данных может осуществляться также и на операционном уровне представления отдельных этапов работ в маршруте (и3). Примеры результатов подобных действий приведены на рисунке 5: фрагмент «а» содержит прототип технологического процесса, являющегося этапом ОЖЦ (рис. 4в); «б» – откорректированный прототип технологического процесса, являющегося этапом ОЖЦ (рис. 4а). Особенностью ТП, приведенного на рисунке 5а является то, что в нем содержится описание действий по межзаводской кооперации (область «К»). Описание подобных действий может быть вынесено на уровень отдельных этапов ОЖЦ, как это показано в примере отработки процесса с применением критического оборудования на рисунке 4б, если это требуется по условиям балансировки общего потока работ.

92.207.55.174.00.00.004 (Кольцо)
ДСЕ ЖЦ(цепочка) серия (Статус: и)



б) серия, критическое оборудование

92.207.55.174.00.00.004 (Кольцо)
ДСЕ ЖЦ(цепочка) серия (Статус: и)



в) серия, МЗК

Рисунок 4 – Результаты генерации ОЖЦ

Номер операции	Наименование операции	Уровень	Цех	Участок	Тшт	Тпз	Тест	ОО	ОТК	ПЗ	КПС
005	Заготовительная	1	751	7511	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
010	Термическая	2	751	7514	0,02	0,32	6,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
019	Наладка оборудования с ЧПУ	4	751	7513	0	3,7	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
020	Токарная с ЧПУ	4	751	7513	0,44	0,16	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
025	Комплексная на обрабатывающих с ЧПУ	5	751	7513	0,26	0,54	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
030	Сверлильная	6	751	7512	0,26	0,54	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
035	Слесарная	7	751	7512	0,26	0,54	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
040	Промывка	8	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
045	Круглошлифовальная	9	751	7512	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
050	Получение покрытия	10	751	7514	0,26	0,54	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
055	Малярная	11	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
060	Маркировочная	12	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
065	Гравировально-фрезерная	13	751	7512	0,26	0,54	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
070	Контрольная	14	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
055	Изготовление по МЗК. Покрытие. Отпр...	31	713	7130	0,26	0	80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
056	Изготовление по МЗК. Получение	32	713	7130	0,18	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
060	Контроль после МЗК	33	751	7514	0,46	0,46	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

а) ТП на деталь (рис. 4в)

Наименование: ТП на деталь из прутка Обозначение: 92.207.55.174.00.00.00

Цех: 751 Тшт: 2,56 2,06 Тпз: 3,14 2,14 Тест: 0 0

Добавить: Материал Операцию Переход Оборудование Инструмент Приспособление Группу работ Исполнителя Настроить

Значения по умолчанию: Участок: 0 Мастер: 0 Вид оплаты: 0 Тариф: 0

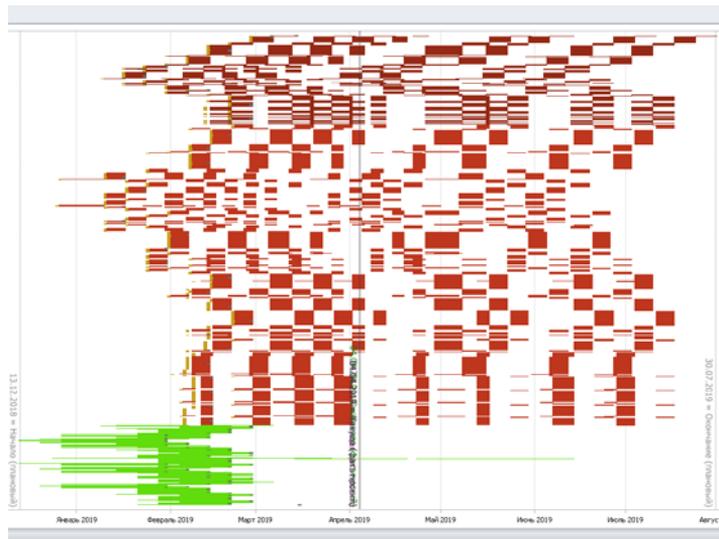
Номер операции	Наименование операции	Уровень	Цех	Участок	Тшт	Тпз	Тест	ОО	ОТК	ПЗ	КПС
005	Заготовительная	1	751	7511	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
010	Токарная	2	751	7512	0,5	1	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
015	Слесарная	3	751	7512	0,26	0,54	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
020	Промывка	4	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
025	Малярная	5	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
030	Маркировочная	6	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
035	Контрольная	7	751	7514	0,36	0,32	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

б) ТП на деталь (рис. 4а)

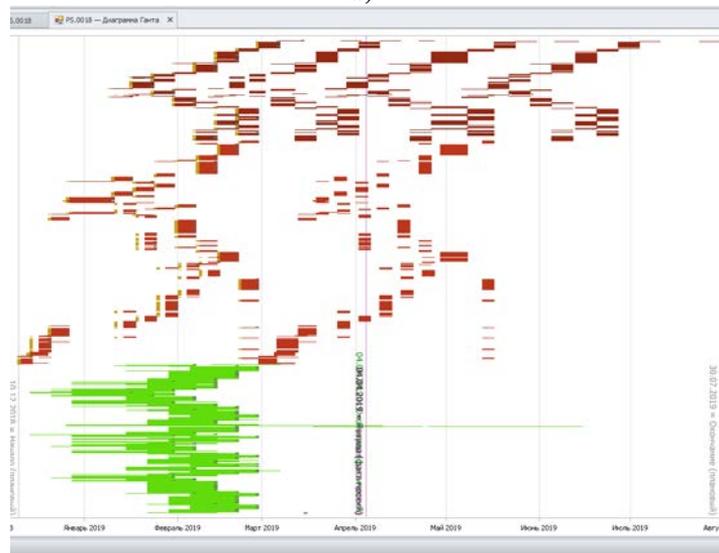
Рисунок 5 – Результаты генерации данных на операционном уровне

По завершении автоматизированного процесса генерации описаний, специалистами может быть проведена корректировка КТХ или доработка полученных описаний в диалоговом режиме с привлечением информации из каких-либо PDM-систем (например, загрузка технологических процессов на уровне операционного описания). В случае корректировки КТХ, проводится повторная генерация описаний на основе БЗ.

Задание и корректировка управляющих производственно-технологических характеристик (УПТХ) производятся на основании базовых правил и опыта специалистов (3). Базовые назначения УПТХ производятся из условий выполнения работ по потоку работ, как работ по единому проекту. Данные, получаемые при обработке УПТХ, используются для расчета дат начала работ, их длительности и плановых размеров партий запуска деталей и сборочных единиц в производство. Изменения структуры потока работ в зависимости от значений УПТХ приведены на рисунке 6а, на рисунке 7 соответствующие им значения загрузки подразделений. Предварительное моделирование принимаемых решений по организации потока работ показывает, что результаты могут существенно различаться как по структуре процессов управления (рис. 6), так и по затратным характеристикам (рис. 7).

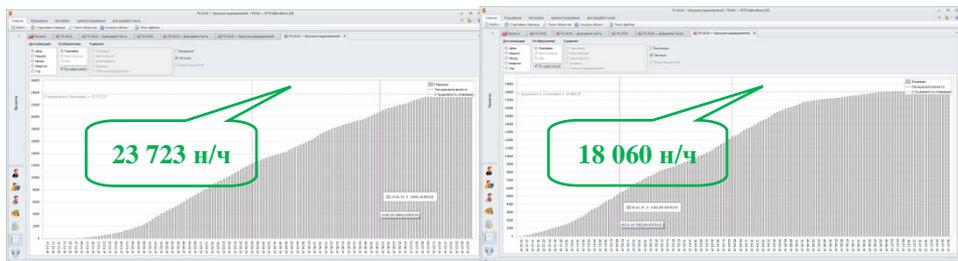


а)



б)

Рисунок 6 – Изменения структуры потока работ: а) вариант 1, б) вариант 2



а) вариант 1

б) вариант 2

Рисунок 7 – Изменения загрузки подразделений

Планировщик системы формирует общий поток работ (4), на основании существующего портфеля заказов (и5). Результатом расчета является базовый план (рис. 1, область «план»), объединяющий объекты опытного и серийного производства. План объединяет работы различных подразделений: конструкторских (А), логистических (Б), технологических (В), производственных (Г). В зависимости от конструктивных и технологических особенностей изделия, а также состояния проектно-производственной среды предприятия, загрузка подразделений предприятия работами конкретного проекта может быть различна, но модуль планирования стремится оптимизировать загрузку ресурсов предприятия, используя в качестве критерия величину «незавершенного производства и разработки», опираясь на общие принципы организации бережливого производства. Перегрузки отдельных подразделений приводят к изменению сроков (графиков) работы всех подразделений, функционально связанных по этапам жизненного цикла. Таким образом, технологические и логистические решения влияют на очередность выполнения проектных и конструкторских работ.

Проведение анализа плана в целом (5) преследует целью проверку исполнимости плана по комплексу проектных и производственных работ для исполняемого портфеля заказов (и5, рис. 8). Анализ загрузки ресурсов подразделений (люди, критическое оборудование), участвующих в реализации основной деятельности, позволяет сделать выводы о необходимости проведения мероприятий по (и4): корректировкам индивидуальных календарей исполнителей и критического оборудования; уровню сменности на отдельных участках; кооперации между предприятиями по отдельным видам продукции.

Производственные решения (ПР):														
Наименование	Код	Кол-в...	Но...	1-...	2-...	3-...	4-...	5-...	6-...	7-...	8-...	9-...	Подраздел...	МПС марш...
Решение для ЦТП	PS.0013	1	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Решение для "нс1-м от 180427"	PS.0014	1	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	КПТВ	
ЦТП 2 180507	PS.0015	1	0	✓	✓	✓	✓	✓	○	○	○	?	КПТВ	
ЦТП 2 180507 - Дубликат	PS.0016	8	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	кпТВКОР2	
Проекты														
Включено	Номер	Наименование	Код	Счет	Заказ	Программа	Смещение	Дата завершения	Заказ (текст)	Этап	Приоритет	Пут		
✓	8	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400008		1	0	31.07.2019		1			50
✓	7	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400007		1	14	17.07.2019		1			50
✓	6	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400006		1	33	28.06.2019		1			50
✓	5	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400005		1	42	19.06.2019		1			50
✓	4	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400004		1	61	31.05.2019		1			50
✓	3	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400003		1	70	22.05.2019		1			50
✓	2	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400002		1	79	13.05.2019		1			50
✓	1	ЦТП 2	PRJ.0011	4000	400001		1	92	30.04.2019		1			50
...														
Решение "нс-ин 180505" - Дубликат	PS.0017	3	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	кпТВКОР2	
ЦТП 2 180507 - 2	PS.0018	8	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	кпТВКОР2	

Рисунок 8 – Представление портфеля заказов

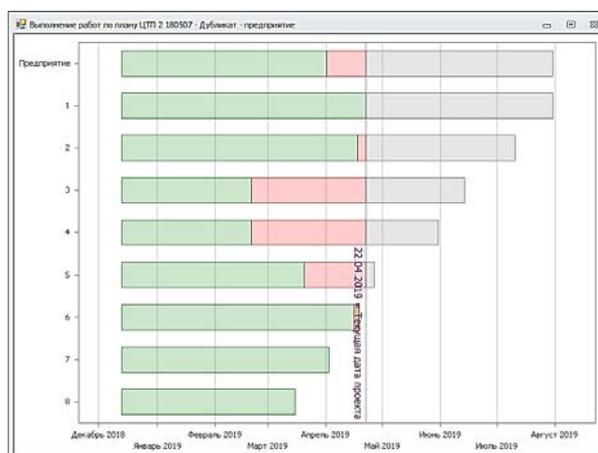
При анализе на долгосрочном горизонте планирования формируется план мероприятий по корректировке состава трудовых ресурсов подразделений (и4).

Проведение анализа локальных производственно-технологических решений (6) проводится на предмет анализа несоответствий между трудозатратами и длительностью выполнения отдельных работ. Корректировка осуществляется посредством внесения изменений в УПТХ, либо КТХ и проведению соответствующих перерасчетов.

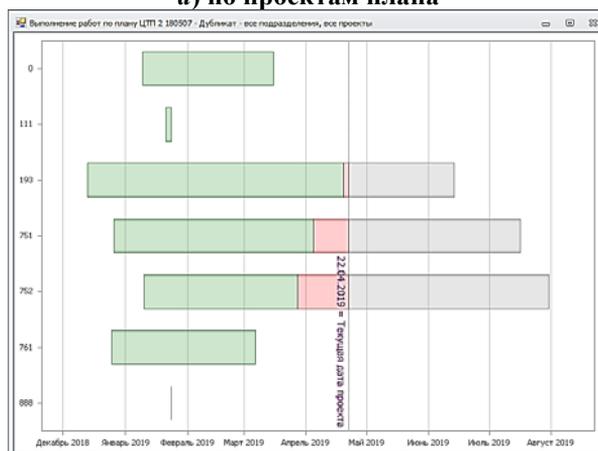
Регулярные действия по управлению проектно-производственной деятельностью (7) предполагают:

- назначение и выдачу заданий подразделениям (маршрутное управление) и конечным исполнителям (операционное управление);
- отметку об исполнении заданий и контроль исполнения специализированными службами;
- мониторинг состояния проектно-производственной среды.

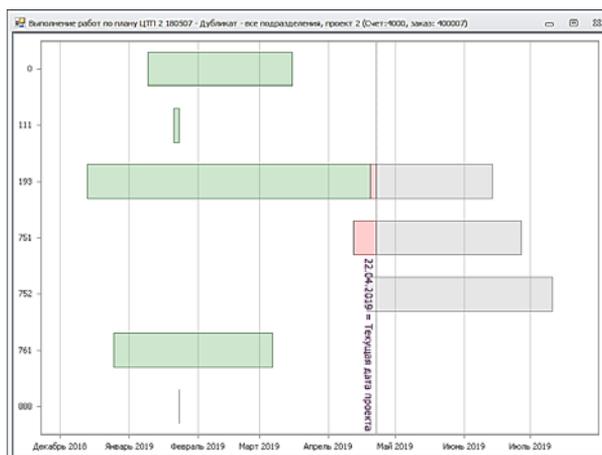
Мониторинг состояния среды может проводиться как на уровне состояния отдельных этапов работ по маршрутам или операций по этапу, так и отдельных проектов плана и подразделений, участвующих в реализации проектов. На диаграммах (рис. 9) зеленым цветом показан уровень работ, выполненных в срок; красным – работ, которые будут выполняться с опозданием; синим – работ, выполненных с опережением плана.



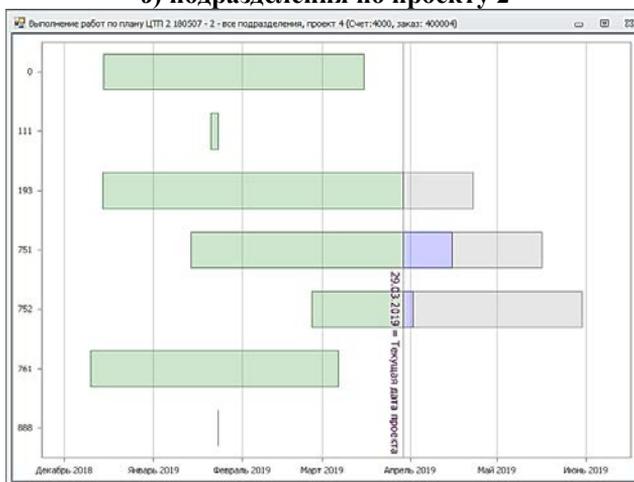
а) по проектам плана



б) по подразделениям из плана



б) подразделения по проекту 2



в) подразделения по проекту 4

Рисунок 9 – Мониторинг состояния ППС

Разработанная модель информационно-алгоритмической среды системы ПОУ обеспечивает интеграцию решений по задачам управления процессами функционального и конструкторского проектирования, технологической и логистической подготовки производства, изготовления изделий. Модель обеспечивает возможность последующего мониторинга процессов по этапам жизненного цикла за счет согласования эталонных и рабочих (реальных) данных, осуществляя привязку данных к информации о сопровождаемых изделиях. В модели обеспечивается уникальность сопровождения конструкторского состава каждого из сопровождаемых изделий, что в силу специфики процессов создания изделий РКП крайне необходимо из-за большого потока конструкторских и, технологических изменений.

Концепция «Индустрия 4.0» уверенно ассоциируется с использованием цифровых двойников (*Digital Twin – DT*). *DT* – это комплекс динамических информационных моделей представления данных о физическом объекте и процессах его создания: *DT-1* и *DT-2* [1]. Эти информационные модели должны изменять не

только содержание, но и структуру разделов, описывающих изделие. Для системы ПОУ разработаны механизмы поддержки и управления данными по комбинированной схеме, объединяющей данные и на уровне ссылочных (адресных) структур для отложенных по времени обработок, и на уровне интегрированных массивов в СУБД (систем хранения данных – СХД) для оперативной обработки.

DT-1 – цифровой двойник объекта. Данные, содержащиеся в объекте, могут формироваться в средах различных программных платформах. Организация структуры хранилища определяется в соответствии с конструкторским, технологическим и эксплуатационным составом изделия.

DT-1 становится единым «хранилищем», объединяющим результаты работы специалистов, создающих описание изделия (расчетчиков, конструкторов, технологов, производственников, снабженцев, ...), становится средством интеграции результатов научной, проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности, осуществляемой географически распределенными коллективами разных предприятий. Главной задачей при создании *DT-1* является не только обеспечение процессов проектирования-производства информационными ресурсами, главным приоритетом является создание максимально бесшовной системы сквозного автоматизированного проектирования, технологической подготовки и изготовления, базирующейся на реально действующей системе управления ВТП.

DT-2 – цифровой двойник процессов (разработки и производства), который фиксирует и позволяет определять характеристики, приобретаемые изделием в процессах его создания. Основой организации причинно-следственных связей данного хранилища является структура потока работ – основного элемента методологии ПОУ, формируемая на основе конструкторского, технологического и производственного составов изделия. Информация, содержащаяся в хранилище, позволяет оперативно установить не только характеристики процессов изготовления (оборудование, персонал, ...), но и параметры логистических процессов по поставкам материалов и комплектующих.

Базовыми характеристиками, сохраняемыми в *DT-2*, являются наборы параметров по плановым и фактическим показателям: работы обрабатывающего и контролирующего оборудования, состояния окружающей среды, психофизического состояния исполнителей, видеонаблюдения за процессами, Одним из основных назначений *DT-2* является подтверждение характеристик качества изделий.

Как было принято в концепции разработки функционала [2], система построена на микро-сервисной архитектуре. Решаемые системой задачи, особенно в части организации управляющих структур и хранилищ данных цифровых двойников, требуют поддержки интерфейсов с различными программными платформами.

Получение оптимального решения в программном продукте, сочетающим в себе широкий спектр функциональной нагрузки, представляется затруднительным. Разработка программного обеспечения выполнена в соответствии с современными тенденциями развития технологий и направлена в сторону применения сервис-ориентированных шаблонов проектирования информационных решений. Сервис-ориентированная архитектура (*SOA*, англ. *service-oriented architecture*) –

модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределенных, слабо связанных (англ. *loose coupling*) заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам.

Программные комплексы, разработанные в соответствии с сервис-ориентированной архитектурой, реализованы как набор веб-служб, взаимодействующих по протоколу *SOAP (Simple Object Access Protocol)*. Архитектура на базе микро-сервисов, в отличие от *SOA*, благодаря более детальному разделению и выбору менее сложных протоколов общения между компонентами позволяет объединить плохо сочетаемые между собой технологии в одном решении. Микро-сервисы могут быть разработаны на разных технологических платформах и на разных языках программирования, самое главное и необходимое условие – это хорошо спроектированная система обмена сообщениями между сервисами.

Представленная на рисунке 10 схема описывает взаимодействие программных компонент системы ПОУ.

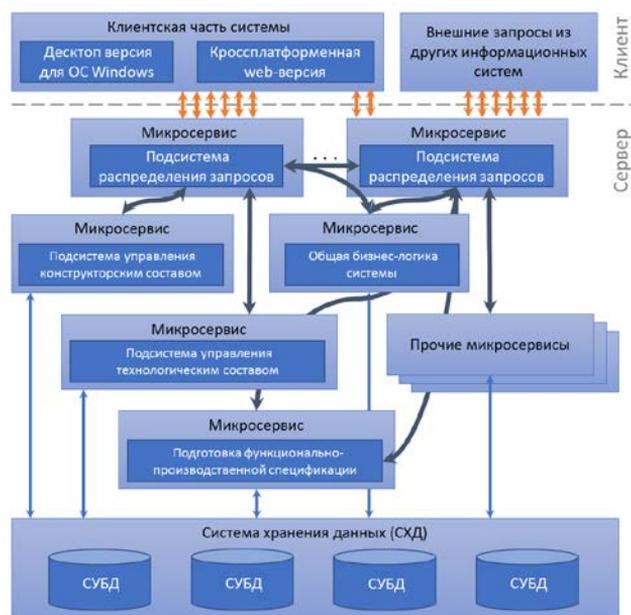


Рисунок 10 – Микро-сервисная архитектура системы ПОУ

Использование микросервисного подхода организации архитектуры позволяет повысить отказоустойчивость программного комплекса. Подобная организация связей между модулями (микросервисами) повышает гибкость интеграционного решения в целом, так как любой микросервис может быть альтернативно реализован на уже существующей информационно-вычислительной инфраструктуре предприятия. Возможность организации нескольких одновременно работающих подсистем распределения входящих от клиентов запросов повышает отказоустойчивость системы, особенно на этапах повышенной нагрузки от систем мониторинга производственной деятельности.

Программная платформа позволяет использовать базы данных различных производителей в качестве системы хранения данных на предприятии. Так же возможно использования систем хранения с «гибридным» составом СУБД, например, данные конструкторского состава могут быть организованы на базе *PostgreSQL*, а технологический контур с использованием решений компании *Oracle*.

Рассмотренное решение по построению системы комплексного управления проектно-производственной деятельностью направлено на решение острых проблем, стоящих перед предприятиями РКП, среди которых:

- сокращения сроков создания новой и модификации существующей техники;
- сокращение затрат на управление сложными организационно-техническими системами;
- скорейший переход на новые формы автоматизации и информационного сопровождения проектно-производственных процессов.

Во многом решение этих проблем связано с построением ВТП, но следует еще раз отметить, что совершенствование системы управления, наделение ее интеллектуальными компонентами в части подготовки описания процессов и анализа состояния проектно-производственной среды вносит значительную долю в достижение желаемой цели.

Применение этого комплексного решения будет способствовать повышению конкурентоспособности предприятий промышленности.

Исследования проведены в рамках инициативной научно-исследовательской работы ИЦМР-9 «Создание методологической базы технологии «Цифровой двойник» как процесса управления всем жизненным циклом изделия» при поддержке РТУ МИРЭА.

Литература

1. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В., Марусева В.М., Кулемин В.Ю. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника, 2018. № 1. С. 6–33.
2. Лопота А.В., Цырков А.В. Построение системы проектно-операционного управления научно-производственным машиностроительным комплексом // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России: Науч.-техн. журн., 2016. № 2. С. 52–60.
3. Лопота А.В., Цырков Г.А. Принципы построения системы управления проектно-производственной деятельностью для создания сложной технической продукции // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн., 2015. № 2. С. 19–28.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site:www. unitech-mo.ru

Подписано в печать 23.12.2019
Формат В5
Печать офсетная. Усл.печ.л. 10,2
Тираж 500 экз.
Заказ № 75-19
Отпечатано
в типографии
ООО «Научный консультант»
г. Москва
Хорошевское шоссе, 35, корп.2
Тел.: +7 (926) 609-32-93,
+7 (499) 195-60-77
E-mail :keyneslab@gmail.com
Site:www.n-ko.ru